

# SISTEMA DE CONTROL DEL MICROCLIMA PARA LOS CULTIVOS HIDROPÓNICOS DE LECHUGA EN INVERNADERO

## MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM FOR HYDROPONIC CROPS GREENHOUSE LETTUCE

MAMANI L. A., LUIZAGA SÁNCHEZ B. D.

### RESUMEN

**L** climatización precisa en los invernaderos es fundamental para optimizar el crecimiento y la calidad de la producción de lechuga por hidroponía. Por ello es importante la implementación de un sistema automatizado que garantice condiciones ambientales óptimas que permita una mayor eficiencia en el cultivo de lechuga. Utilizando como Controlador el Microcontrolador PIC18F4550 de Microchip que recopila información en tiempo real a través de sensores estratégicamente ubicados en el invernadero. Estos sensores miden constantemente la temperatura y la humedad relativa, proporcionando datos precisos para el control y ajuste automático del sistema. Cuando los sensores detectan una desviación de los parámetros preestablecidos, el microprocesador activa los dispositivos correspondientes dispositivos como calefactor, aires acondicionados de 48000 BTU, humidificador y deshumidificador, para corregir el problema. Se desarrolló el programa que permite gestionar todo el proceso desde una interfaz hombre-máquina (HIM) en Labview. El programa desarrollado permite a los operadores interactuar con el sistema de climatización de manera intuitiva y eficiente. A través de la interfaz, pueden supervisar los valores actuales de temperatura y humedad, así como ajustar los parámetros de control según sea necesario. Esto brinda un mayor control y facilita la toma de decisiones y la optimización del invernadero a largo plazo, basadas en la información en tiempo real.

### ABSTRACT

**P**recise climate control in greenhouses is essential to optimize the growth and quality of hydroponic lettuce production. For this reason, it is important to implement an automated system that guarantees optimal environmental conditions that allow greater efficiency in lettuce cultivation. Using Microchip's PIC18F4550 Microcontroller as Controller that collects information in real time through strategically located sensors in the greenhouse. These sensors constantly measure temperature and relative humidity, providing accurate data for automatic system control and adjustment. When the sensors detect a deviation from the preset parameters, the microprocessor activates the corresponding devices such as the heater, 48000 BTU air conditioners, humidifier and dehumidifier, to correct the problem. A program that allows managing the entire process from a man-machine interface (HIM) in Labview was developed. The developed program allows operators to interact with the air conditioning system in an intuitive and efficient way. Through the interface, they can monitor current temperature and humidity values, as well as adjust control parameters as needed. This provides greater control and makes easier to make decisions and optimize the greenhouse in the long term, based on real-time information.

### PALABRAS CLAVE

Sistema automatizado de climatización,  
Microprocesador,  
Hidroponía,  
Sensores.

### KEYWORDS

Automated air conditioning system,  
Microprocessor,  
Hydroponics,  
Sensors.

# INTRODUCCIÓN

El invernadero, de acuerdo con Villele (1983) y citado por Castilla (2007), “es una construcción que permite la delimitación de un compartimento de cultivo, en la cual el clima difiere del existente al aire libre, por las modificaciones que provoca el material de cerramiento en los intercambios entre el suelo, el sustrato, la masa vegetal, con el entorno.” (p.83)

“En el interior del invernadero, los factores de radiación, temperatura y composición de la atmosfera son modificados generando un microclima distinto local. Este microclima no es uniforme y varía desde el centro a los bordes del invernadero, desde el suelo al techo”, la climatización del invernadero para Castilla (2007) (p.63)

Se estima que el cultivo de la lechuga en sistema hidropónico aumenta en cinco a siete ciclos por año, comparado con el sistema de cultivo convencional.

Sistema Convencional:

- La preparación del suelo.
- El montaje del sistema de riego por goteo.
- La aplicación de mulching o acolchonado.
- La plantación.
- La cosecha.

Sumando todas estas fases del cultivo convencional de la lechuga, la producción puede demandar entre 70 a 100 días, con siete ciclos año de producción de lechuga crespa y tres a cuatro ciclos para lechuga americana.

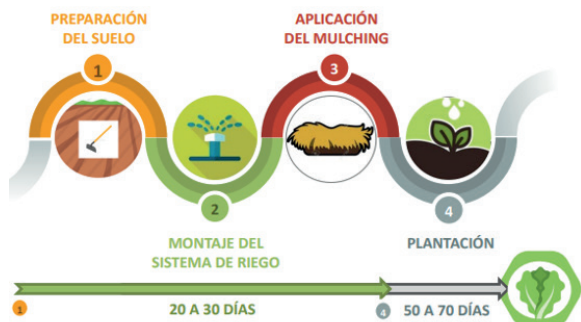


Figura 1. Sistema Convencional

Sistema Hidropónico:

La preparación muda en la fase de germinación, la cual se subdivide en fases de oscuridad (donde se induce la germinación) de entre 20, 24, 48 horas.

La lechuga se transfiere a la bancada de germinación, donde permanecerá de entre 7 a 10 días para su trasplante.

Después de los 8 a 12 días de fase de producción de la muda, la plántula se transfiere a la fase intermedia, cuya duración aproximada es de 8 a 10 días.

En la fase final, se transfiere a los tubos y su estimación de cultivo es de 22 a 25 días.

La cosecha

Se estima un ciclo total de la lechuga hidropónica entre 38 a 47 días.



Figura 2. Sistema hidropónico

Es importante destacar que las fases ocurren en espacios diferentes. Así, al considerar sólo la fase final, se tiene la producción de lechuga con un tiempo de entre 22 a 25 días y, consecuentemente, se tienen entre 12 y 14 ciclos por año. Esto sin todos los procedimientos de preparación del suelo y plantación necesarios para la producción de una lechuga en un sistema de cultivo convencional.

Por lo tanto, una de las principales explicaciones en cuanto a la elevada productividad de la lechuga hidropónica es la eficiencia en el uso del área de cultivo, con ergometría de trabajo, mayor eficiencia del uso del agua y de fertilizantes, menor contaminación ambiental, menores pérdidas productivas (se estima una pérdida del 15% al 20% entre las fases de germinación e intermedio) y, principalmente, mejor control de las variables productivas.

# DESARROLLO

El clima en la región donde se encuentra el invernadero tiene una temperatura promedio 22,6 °C, fluctuando entre 27,6 y 17,7 °C,

La humedad relativa es baja al final de estación de invierno y principios de primavera, entre 65% y 68%. Sin embargo, en verano y otoño varía entre 74 y 79%.

La temperatura óptima para el desarrollo de la lechuga es de 15 a 18 grados Centígrados, soportando una temperatura máxima de 24 °C y una mínima de 12 °C. Si la temperatura es baja, el desarrollo se detendrá, mientras que, si es alta, se acelerará el desarrollo del tallo floral y, por tanto, la calidad de la lechuga se verá afectada debido a la acumulación de látex amargo en las venas. También hay que tener en cuenta el tener cuidado de mantener la humedad entre el 60 a 80%. Si ésta es menor del rango señalado, la planta se deshidratará, y si es mayor, podría provocar la aparición de hongos.

El proceso actual de ventilación para controlar la temperatura y ventilación se da, de acuerdo a las condiciones climáticas, por el personal que controla las lucarnas (aberturas del invernadero) para que se establezca el ambiente. El control no es óptimo, provocando el poco rendimiento de los cultivos.

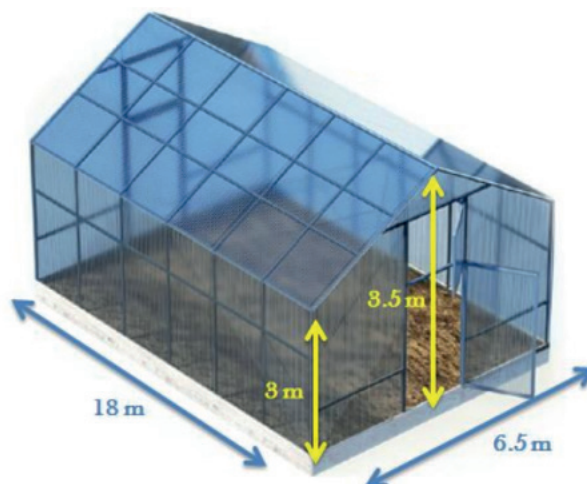


Figura 3. Dimensiones del invernadero

El tipo de invernadero es de Tipo Capilla, con dimensiones de 18 m, de largo y 6,5 m. de ancho, con una altura mayor de 3,5 m y una altura menor de 3 m. Tiene una superficie de 117 m<sup>2</sup> y un volumen es de 380.25 m<sup>3</sup>.

La cubierta del invernadero está compuesta por Agrofílm, que es el plástico más usado para las cubiertas de los invernaderos, y de malla Antiafida, el cual es utilizado para la protección contra

los rayos ultravioleta e impide el paso de los insectos a los invernaderos.

### Diseño del Sistema de Control

Para poder realizar el control de las variables de temperatura y humedad relativa, se necesitan dispositivos que arrojen datos de su comportamiento en tiempo real. Las dos variables principales, temperatura y humedad relativa, se midieron y controlaron en este proyecto.

### Sensor de Temperatura

#### Criterios de Selección y requerimientos

**Geometría:** El sensor debía ser pequeño, para un espacio menor a 1 x 1 cm, en el soporte asignado para la colocación de sensores.

**Intervalo de Medición:** El sensor debía ser capaz de ejecutar mediciones dentro del intervalo de medición deseado, entre 15 a 18 °C, con una precisión de 0.25 °C.

**Conectividad:** El sensor debía que ser capaz de conectarse fácilmente a registradores de datos y a otros equipos de control de datos.

En la siguiente tabla 1 se presenta la siguiente comparativa de sensores de temperatura considerados.

Tabla 1. Comparativo del Sensor de Temperatura

	DS18B20	AM2320	LM35	Criterios de selección
Voltaje de suministro, V	3,0 a 5,5	3,1 a 5,5	4 a 30	5
Rango de operación, °C	-55 a +125	-40 a +80	-40 a +100	+15 a +18
Precisión, °C	0,25	0,5	0,75	0,25
Señal de Salida	1-Wire	I2C	--	--
Salida	Digital	Digital	Analógico	--

El sensor utilizado fue el DS18B20, un sensor digital de un solo cable. Esto significa que solo requiere una línea de datos y GND para comunicarse. Cada DS18B20 se identificó con un código único de 64 bits que permite conectar múltiples sensores al mismo cable de datos. La resolución de medición de la temperatura se podía establecer en 9, 10, 11 o 12 bits, lo que corresponde a precisiones de 0,5, 0,25, 0,125 y 0,0625 °C, respectivamente. La resolución predeterminada en el encendido es de 12 bits. El sensor se puede alimentar con una fuente de alimentación de 3 a 5,5V, consumiendo sólo 1mA durante las conversiones de temperatura activas.

### Sensor de Humedad

#### Criterios de Selección y requerimientos

**Geometría:** Tamaño pequeño, para un espacio menor a 1 x 1 cm, en el soporte asignado para la colocación de sensores.

**Intervalo de Medición:** Rango medición de Humedad Relativa de entre 60 a 80 %RH, con una precisión de 2 %, suficiente para mantener el rango de medida con precisión, contando 5 pasos cada 10 %.

**Conectividad:** El sensor debía ser capaz de conectarse fácilmente a registradores de datos y a otros equipos de control de datos.

En la siguiente tabla 2 se presenta la comparativa de los sensores de humedad.

Tabla 2. Comparativo del Sensor de Humedad

	AM2320	DHT11	Criterios de selección
Voltaje de suministro, V	3,1 a 5,5	3,3 a 5,5	5
Rango de operación, % RH	0 a 99	20 - 80	60 - 80
Precisión%	2	5	2
Señal de Salida	I2C	I2C	--
Salida	Digital	Digital	--

El sensor utilizado fue el AM2320, es un sensor de humedad y temperatura de bajo costo, con una interfaz en serie integrada, pudiendo transmitir hasta a 100 metros de distancia. El sensor está calibrado y no requiere componentes adicionales.

### Selección de Actuadores

Para la selección del deshumidificador fue necesario conocer la capacidad a deshumidificar. De acuerdo con la teoría, se tomó un valor medio de 70% de humedad relativa, se buscó el nivel en el que se encuentra según el manual AC&CC del Ingeniero, determinándose el nivel como Muy Húmedo.

En base al volumen del invernadero, se determinó la capacidad de 19.89 litros por día, seleccionándose el deshumidificador DC-75 de 26,6 litros, CONDAIR, cuyas características técnicas principales son: Energía 220 V 50 Hz AC, capacidad de 26,6 litros/día, peso de 85 kg, potencia de consumo 1590 W.

Para la selección del calefactor se determinó la capacidad del calefactor requerida en base a : Temperatura deseada, Temperatura mínima exterior en época de invierno y área a calentar, requiriéndose un calefactor de un mínimo 17550 BTU, siendo el seleccionado el de marca YUKANG, modelo AD018.

Se determinó que la capacidad necesaria del aire acondicionado era de 77742 BTU/ h, siendo seleccionados dos aires acondicionados GREE, modelo GMV5 ST 140, con 48000 BTU, con una potencia de consumo 160 W.

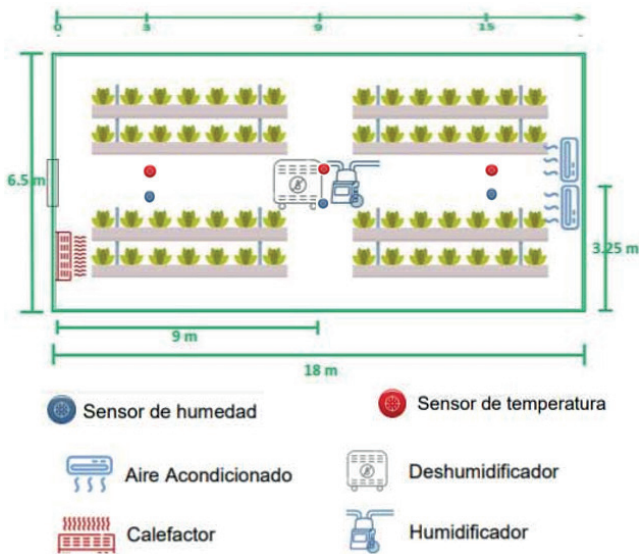
Se seleccionó un humidificador, modelo B089GXGMBR, de la marca JIAWANSHUN, con capacidad de 12 litros/día y una potencia de consumo 140 W.

Se seleccionó el Microcontrolador PIC18F4550 de Microchip que presenta las siguientes características:

- Arquitectura RISC de 8 bits.
- 40 M Hz velocidad reloj.
- 16 Keywords de memoria FLASH.
- 2048 bytes de memoria RAM.
- 256 bytes de memoria EEPROM.
- 10 CAD de 10 bits.
- 2 comparadores análogos.
- 1 timer de 8 bits y 3 de 16 bits.
- 2 canales de PWM.
- 24 entradas/salidas de propósito general.
- (ICSP™, ICD) interface USB V2.0 SPI, IIC, UART voltaje de operación 2.0 a 5.5 V.
- Empaquetado 28 DI P.
- Soporta solo Full Speed y Low Speed.
- Soporta modo interruptivo, isócrono y bulk transfer.

Al tener una arquitectura optimizada para C se utilizó el de CCS para el programa de interface.

Se ubicaron los 3 sensores de temperatura a 3, 9 y 15 m de la puerta y, el aire más alejado, a una altura de 2,5 m, como se ve en la figura 4.



Para el posicionamiento de los sensores de humedad relativa se utilizaron los mismos puntos de ubicación de los sensores de temperatura.

Antes del posicionamiento de los actuadores se determinó la colocación del aire acondicionado. Para una distribución uniforme del aire, se ubicó en el centro de la parte trasera, al frente de la puerta del invernadero.

El calefactor se colocó junto a la pared más fría de la estancia, a 12 cm arriba del piso, para favorecer la recirculación del aire.

El deshumidificador y el humidificador se colocaron en el centro del invernadero para que sus lados se mantuviesen despejados y así, extraer y expulsar el aire sin obstáculos, garantizando su funcionamiento.

Debido a la necesidad de corregir las desviaciones de los parámetros de temperatura y humedad, de la salida frente a la referencia, y que fuese de forma automática, se decidió que el tipo de control tenía que ser de lazo cerrado. El PID fue el algoritmo que permite controlar el sistema de lazo cerrado, para que alcance del estado de salida sea el deseado

La identificación de Constantes del PID se realizó utilizando el LabView como sistema de simulación. Se encontró lo siguiente:

- Setpoint 17,00
- PID gains:
- Proportional gain, Kc =1,000
- Integral time, Ti, min =0,010
- Derivative time, Td, min =0,000

Estas constantes se definieron para tener la grafica esperada, de acuerdo al set-point que se quería obtener.

En el diseño del sistema de control se tomaron en cuenta todos los elementos que configuran el invernadero. Se midió, con los sensores de temperatura y humedad, se controló y visualizó, usando el microcontrolador y la interfaz HMI, se ejecutaron los respectivos actuadores y, finalmente, todo el sistema se realimentó repitiendo el proceso.

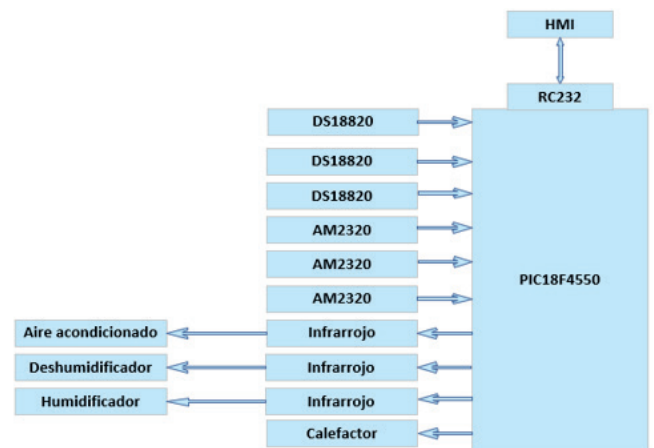
En las primeras etapas del diseño fue necesario utilizar simulaciones, que luego podrían ser aplicadas en un entorno real.

Proteus es un programa de diseño y simulación electrónica formada por dos programas, ARES e ISIS. El primero de ellos se utilizó para diseñar el circuito del diseño y su posterior ruteado, dejando la placa lista para ser aplicada en un circuito impreso.

El segundo programa, ISIS, se utilizó para la realización del esquemático y su simulación. Pero es sin duda, su capacidad de simular el funcionamiento de un PIC a través del formato hex, generado por el programa de compilación, la cualidad que lo hace diferente al resto.

En el entorno de trabajo del programa Proteus, se colocaron los componentes a utilizar, se realizaron las conexiones entre componentes y se configuró del microcontrolador en Proteus, y se procedió a la ejecución de la simulación del diseño

Para la respectiva comunicación entre los actuadores y el microcontrolador se tuvo que tomar en cuenta el tipo de interfaz que tiene cada uno de ellos, siendo el sistema de comunicación seleccionado el infrarrojo, IR.



El sistema de alimentación de emergencia se conformó por una batería con capacidad de 2400 W y un inversor con capacidad de 3500 W.

Para el desarrollo del sistema HMI se tomaron en cuenta las siguientes etapas: Entrada de los datos, interpretación de los datos, visualización de los datos, control de los datos y la salida de los datos.

Para el desarrollo de un programa HMI en LabView se necesitó una interfaz para la comunicación. En este caso, la mejor alternativa fue utilizar OPC (OLE for Process Control), un estándar industrial para la comunicación entre dispositivos de diferentes marcas.

Primeramente, se realizó el diseño respectivo dentro del programa LabView. Dentro de la programación de bloques de LabView, se produjeron las señales de las respectivas variables y entradas para la lectura de datos transmitidos del Proteus y así observar los datos obtenidos por los sensores de humedad y temperatura.

Se efectuó la respectiva programación para la recepción de datos, usando las entradas ya creadas. Por consiguiente, también se armó el programa para la interpretación de los datos enviados y la visualización de los mismos en sus respectivos indicadores. Se dio mayor flexibilidad a la lógica del programa con dos modos: automático y manual, con el controlador PID y la salida de los datos.

El programa controla la temperatura y humedad habiéndose configurado la visualización para ser ejecutada como un sistema HMI.

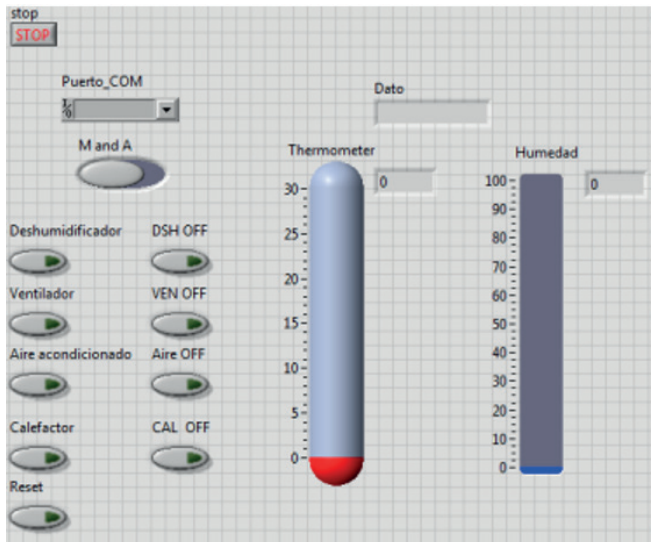


Figura 6. Visualización de los datos como HMI en LabView

## CONCLUSIÓN

Se realizó el diagnóstico respectivo teniendo en cuenta que se trata de lechugas dentro de un invernadero.

Primero se estableció que los parámetros de impacto son la temperatura y la humedad, cuyos rangos están en base a las recomendaciones de los Estándares de calidad del IICA, de 15 a 18 °C, y una humedad relativa de 60 a 80 % HR.

El tipo de control identificado es de lazo cerrado. Se hizo un PID con las herramientas que tiene el programa LabView, donde los parámetros para el ajuste del PID están en función de las épocas del año al tratarse de temperatura y humedad, ajustándose los parámetros de manera experimental, tal que al sistema no se le exija demasiado ni sea muy lento.

Tiene una comunicación entre el actuador (aire acondicionado, deshumidificador y humidificador) y el microcontrolador por medio de sensores infrarrojos, gracias a los protocolos de comunicación IR como NEC o RC5, y los códigos identificados de los botones de los controles remotos, para controlar los actuadores seleccionados en el proyecto.

El sistema Back Up de alimentación tiene una batería de 12V, 200Ah, con una duración de 1 hora, para respaldar la alimentación del sistema en caso de interrupciones en la fuente principal.

## REFERENCIAS

- ANTUNEZ, F. (2016). UF2235: Puesta en marcha de sistemas de automatización industrial. Antequera, Malaga: IC Editorial.
- BELTRANO, J., & GIMENEZ, D. (2015). Cultivo en hidroponía. Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad de la Plata.
- CASTILLA, N. (2007). Invernaderos de Plástico. Madrid, España: Edición Mundi Empresa.
- CORONA, L., ABARCA, G., & MARES, J. (2014). Sensores y Actuadores. Azcapotzalco, Mexico: Grupo Editorial PATRIA, S.A de C.V.
- FORTUNATO, E. (2013). Control automatizado de temperatura y humedad con plataforma Labview para prevenir enfermedades respiratorias en la crianza de cuyes en el distrito de Vilca. Huancavelica, Peru: Universidad Nacional de Huancavelica.
- LATA, S. (2018). Selection of Number and Locations of Temperature and Luminosity Sensors in intelligent Greenhouse. India: School of Engineering and Technology, Sharda University.
- NAHUM, E. (2015). Automatización de un invernadero. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Tecnología.

## CITA

