

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRONICOS INDUSTRIALES

**Construcción y Automatización Remota de un Invernadero
Hidropónico Tipo N.F.T.**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

PRESENTAN

ALEJANDRO PÉREZ PRADEL Y RAÚL RAFAEL ROMERO MOLOTLA

DIRECTOR

MTRO. CHRISTIAN AGUSTIN VÁZQUEZ VILLANUEVA

Ciudad de México, marzo 2019

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

INTEGRACIÓN DEL JURADO:

Presidente: Dr. Juan Carlos Martínez Rosas, Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Secretaria: Mtra. Myrna Velarde Saldaña, Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Vocal: Mtra. Catalina Trevilla Román, Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

1er. Suplente: Mtro. Christian Agustín Vázquez Villanueva, Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

SAN LORENZO TEZONCO

DIRECTOR DE TESIS:

Mtro. Christian Agustín Vázquez
Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

AGRADECIMIENTOS

Raúl Rafael Romero Molotla

A mis padres Prof. Raúl Romero Hernández y Profa. Serafina Molotla Molotla por su gran apoyo durante todo mi trayecto de mi carrera, por todas las cosas que me han enseñado que me enorgullecen, le agradezco a dios por haberme brindado a padres tan ejemplares, porque sin ustedes este logro no hubiera sido posible. GRACIAS PAPÁS.

Les agradezco a mis hermanas Laura Esther, a Alma Karen y a Diana Berenice por todas las cosas que me han ayudado, que al fin los cuatro hermanos estaremos titulados y ser un orgullo más para nuestros padres que siempre han deseado lo mejor para nosotros.

Agradezco a mi novia Lucia Marisol Velázquez Zalazar por estar ahí en todo momento, por acompañarme cuando la necesitaba, por su paciencia y estar en este logro que es muy importante para mí, porque gran parte de este logro ha sido gracias a ti.

Mis sobrinos Ángel Andrey y José Raúl que son motivo de orgullo para presentar este trabajo y alegrar mi vida con sus sonrisas.

Mis padrinos Francisco Contreras cabello y Celia Jiménez Cabello por estar en todo mi trayecto de mi carrera, por sus consejos y su gran apoyo en terminar este sueño que comenzó cuando inicie mi carrera.

A mis amigos, por todos los momentos que hemos atravesado juntos, quienes me ofrecieron su apoyo incondicional, darme sus consejos y escucharme, por hacerme crecer como persona, me siento agradecido por haberlos conocido.

Quiero agradecerle a mis sinodales por su ayuda y amistad que me brindaron, el tiempo que me compartieron, sus enseñanzas, ideas y conocimientos que me permitieron aprender mucho más en el estudio de este proyecto.

Le agradezco a la Virgen María por poner en mi vida tantas personas que me han ayudado y han sido motivo de mi esfuerzo, te agradezco mucho porque siempre que te pedía ayuda estabas ahí para brindármela, para guiarme y entender cuando sentía que perdía el camino.

AGRADECIMIENTOS

Pérez Pradel Alejandro

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas; a mi madre Sonia Pradel Ramírez por estar dispuesta a acompañarme y estar al pendiente de cada larga y agotadora noche de estudio; a mi padre Rodolfo Pérez Arias por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida; a mi hermano Rodolfo Pérez Pradel por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

Gracias a la familia Pérez y a la familia Pradel por apoyarme en cada decisión y proyecto, porque cada día me demuestran lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser; gracias a mi familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis.

Gracias a Dios por permitirme conocer a mis abuelos, por poder vivir y disfrutar la vida a su lado, gracias a ellos porque cada día me enseñaron algo nuevo, porque desde donde se encuentren siempre confiaron en mí.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

A mi casa de estudios la UACM por brindarme la oportunidad y el apoyo para crecer de manera personal mostrándome valores que con orgullo llevaré a cabo en mi vida profesional, así mismo a los profesores por compartirme su tiempo, amistad y conocimiento. En especial al director de tesis y sinodales por confiar y aportar al éxito en la realización de este trabajo.

A mis amigos, compañeros de carrera y familia uacemita, la gran “banda de la banca” por compartir risas, lágrimas y esfuerzos. A mis grandes amigos Abril, Kary y sobre todo Rafa por siempre y en todo momento brindarme su gran apoyo incondicional muchas gracias.

A Dios y mi virgen de Guadalupe por darme vida y tener la oportunidad de compartir con mis seres queridos un éxito no solo mío, sino de cada uno que estuvo conmigo hombro a hombro.

Este es un momento muy especial que espero, perdure en el tiempo, no solo en la mente de las personas a quienes agradecí, sino también a quienes invirtieron su tiempo para echarle una mirada a este proyecto de tesis; a ellos así mismo les agradezco con todo mí ser.

Capítulo 1. Introducción

1.1 Motivación	1
1.2 Problema de estudio	1
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivos	2
1.4.1 Objetivo general	2
1.4.2 Objetivos específicos	2
1.5 Organización de la tesis	2

Capítulo 2. Antecedentes

2.1 Introducción	4
2.2 ¿Qué es un invernadero?	5
2.2.1 Tipos de invernadero	5
2.3 ¿Qué es la hidroponía?	10
2.4 Sistemas hidropónicos	11
2.5 Sistema N.F.T	11
2.6 Ventajas y desventajas del sistema hidropónico N.F.T	13

Capítulo 3. Diseño del sistema de automatización y variables de control

3.1 Diseño del sistema	13
3.2 Parámetros de control	15
3.3 Control de temperatura del invernadero	16
3.3.1 Sensor LM35	16
3.3.2 Sistema de calefacción	18
3.3.3 Sistema de ventilación	19

3.4 Control de temperatura en la solución nutritiva _____	25
3.5 Control del periodo de recirculación de la solución nutritiva _____	28
3.6 Monitoreo de pH _____	29

Capítulo 4. Introducción a LabVIEW y Arduino para la automatización y control de procesos

4.1 LabVIEW _____	32
4.2 Características de LabVIEW _____	33
4.3 Instrumentos virtuales (VI) _____	33
4.4 Tipos de datos _____	35
4.4.1 Dato cadena de caracteres _____	35
4.4.2 Dato numérico entero _____	36
4.4.3 Dato numérico flotante _____	36
4.4.4 Dato booleano _____	36
4.4.5 Dato dinámico _____	36
4.5 Subrutina o SubVI en LabVIEW _____	38
4.6 Estructuras de ejecución _____	38
4.6.1 Estructura while (ciclo while) _____	39
4.6.2 Estructura for _____	40
4.6.3 Estructura por casos _____	41
4.6.4 Estructura de secuencia _____	41
4.7 Indicadores gráficos _____	42
4.7.1 Indicador Chart _____	42
4.7.2 Indicador Graph _____	43
4.8 Arduino _____	44

4.8.1 Hardware	45
4.8.2 Arduino MEGA 2560	45
4.8.3 Memoria	46
4.8.4 Señales de entrada y salida	46
4.8.5 Comunicación	47
4.9 Hardware de adquisición de datos (DAQ)	47
4.9.1 Arduino como DAQ	48

Capítulo 5. Desarrollo de interfaz gráfica para la automatización y monitoreo del invernadero hidropónico N.F.T

5.1 Programación de LabVIEW para establecer comunicación con el DAQ Arduino	49
5.2 Sistema SCADA	53
5.2.1 Características de un sistema SCADA	53
5.3 Programación para el control de temperatura	55
5.4 Programación para el control de oxigenación de la solución nutritiva	57
5.5 Programación para el control de pH	58
5.6 Programación para la recirculación de la solución nutritiva	62

Capítulo 6. Diseño y construcción del invernadero y sistema hidropónico

6.1 Estructura del invernadero	66
6.2 Estructura del sistema hidropónico piramidal N.F.T	69
6.3 Materiales para la construcción	72

Capítulo 7. Diseño del hardware para la automatización y monitoreo del invernadero hidropónico N.F.T

7.1 Circuitos eléctricos/electrónicos _____	73
7.2 Etapa de potencia _____	73
7.3 MOC 3041 _____	74
7.4 TRIAC BTA08 _____	75
7.5 Optoacoplador 4N35 _____	76
7.6 Relevador _____	77
7.7 Diseños del circuito de control _____	78
7.8 Modulo Wireless HC12 de larga distancia _____	79

Capítulo 8. Pruebas y resultados _____ 86

Capítulo 9. Conclusiones _____ 91

REFERENCIAS _____ 94

Capítulo 1. Introducción

1.1 Motivación

El excesivo crecimiento demográfico ha traído como consecuencia la expansión de zonas urbanas y desplazamiento de las rurales, a nivel mundial, provocando el decremento de espacios dedicados a la agricultura tradicional; sin embargo, la demanda de productos alimenticios frescos se intensifica considerablemente. Este fenómeno puede ser apreciado de manera particular en la zona conurbada de la Ciudad de México (CDMX) ^[1].

Otra de las consecuencias ocasionadas por el problema de crecimiento demográfico y reducción de zonas rurales es el cambio climático, teniendo temporadas de calor inusual y épocas de poca precipitación pluvial. Esto provoca que se afecte considerablemente a las siembras de temporada. Por lo que es necesario el desarrollo de sistemas alternativos para la producción de alimento. Las alternativas para el cultivo son techos, paredes verdes e invernaderos. Actualmente existen invernaderos principalmente para el cultivo de flores y hortalizas.

1.2 Problema de estudio

Debido a la limitación de espacios dedicados para la siembra de alimentos de manera tradicional, en los últimos años se ha optado por elegir lugares pequeños como techumbre de edificios, casas habitación, empresas, terrazas, etcétera. Dentro de estos espacios encontramos los cultivos hidropónicos que por su versatilidad los hace necesarios e interesantes, pues se pueden utilizar tanto de manera horizontal como vertical. Sin embargo una desventaja de estos sistemas es el mantenimiento y supervisión que requieren, lo que eleva los costos. La idea de esta tesis es automatizar el invernadero para hacerlo más eficiente y rentable.

1.3 Justificación

Solucionar la falta de espacios dedicados a la agricultura tradicional mediante invernaderos, para obtener alimento fresco de calidad durante la mayor época del año y sobre todo concientizar a la población de aprovechar los espacios para tener áreas verdes en lugares reducidos, tanto del hogar como de otros sitios.

Este tipo de invernadero nos ayudará a tener cultivos de hortalizas (lechuga, tomate, fresas, col, espinacas, acelgas, pimientos, etcétera), que con el uso de la tecnología, de manera económicamente accesible y enfocada en la automatización se deberán controlar algunas variables para obtener una producción de riqueza nutritiva y de alta calidad para el consumo humano.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Aplicando los conocimientos adquiridos de Ingeniería en sistemas electrónicos industriales de la UACM, se propone realizar la construcción de un invernadero hidropónico automatizado tipo piramidal N.F.T. (***Nutrient Film Technique***). Así mismo, monitorear las variables de los eventos ocurrido en el invernadero mediante sensores y gráficas. Con la finalidad de controlar las variables físicas involucradas, detectar posibles fallas, para tener un cultivo óptimo de una planta específica.

1.4.2 Objetivos específicos

Construir un invernadero tipo N.F.T

- a) Controlar las siguientes variables en su valor óptimo, de acuerdo a la cosecha deseada
 - Control de clima (temperatura) del invernadero.
 - Monitoreo del pH de la solución nutritiva (agua más nutriente).
 - Control del tiempo de flujo de la solución nutritiva en sistema N.F.T.
 - Control de temperatura y oxigenación de la solución nutritiva.
- b) Realizar el control y monitoreo de manera remota.
- c) Probar el invernadero y el sistema de automatización para la cosecha de lechuga.

1.5 Organización de la tesis

En el segundo capítulo, se da una breve introducción de los Cultivos Hidropónicos, incluyendo los conceptos necesarios para entender la importancia del desarrollo del presente proyecto.

En el capítulo tres, se describe el diagrama general del sistema de Control y Automatización y los elementos que son necesarios para implementación como sensores y actuadores.

En el capítulo cuatro, se hace una introducción del uso del Software LabVIEW de *National Instruments* y Arduino, en los cuales están basados nuestros Sistemas de Control y Automatización.

Para el capítulo cinco, se desarrolla la programación en el software de LabVIEW que nos permitirá por medio de una interfaz gráfica monitorear y controlar el invernadero.

En el capítulo seis, se habla sobre diseño de la construcción del invernadero así como el sistema N.F.T.

Dentro del capítulo siete se describe el diseño del hardware para la automatización y monitoreo del invernadero hidropónico N.F.T, así como la realización de la placa de control que permitirá el funcionamiento de todos los componentes involucrados.

En el capítulo ocho, se muestran los resultados obtenidos de la implementación del sistema de automatización en una planta construida a escala, obteniendo resultados exitosos que cumplen con el diseño planteado.

En el capítulo nueve, se realizan las conclusiones que se obtuvieron en el funcionamiento del proyecto del invernadero hidropónico N.F.T.

Capítulo 2. Antecedentes

2.1 Introducción

Los primeros pasos hacia la construcción de invernaderos se remontan hacia el siglo XVII época en la que los **orangeries** (palabra de origen francés cuyo significado es **naranjería** y también puede ser traducida como *invernadero*) se encontraban de moda por toda Europa.

Los **orangeries** eran grandes construcciones con superficie de cristal todo transparente que permitían proteger los cultivos de los cítricos (principalmente de la naranja), de las bajas temperaturas del invierno, estos cultivos eran reservados de manera particular para la aristocracia ^[2].

Es a partir de la Primera Guerra Mundial cuando aparecen los plásticos y con ellos su uso en la agricultura (materiales a base de polietileno, poliestireno o PVC). A partir de la Segunda Guerra Mundial aparecieron los plásticos rígidos como el poliéster en EEUU y Europa ^[3].

En México los comienzos de la agricultura protegida son relativamente recientes, pues es a partir de los años 50 que se tiene registro de las primeras estructuras de tipo invernadero para la producción de plantas ornamentales. A mediados de la década de los 80 se instalaron invernaderos para la producción de plántula que posteriormente sería trasplantada a campo abierto para grandes explotaciones de tomate en los estados de Sinaloa y Sonora principalmente.

Sin embargo, es hasta principios de los 90 cuando se instalan tecnologías, principalmente europeas, para la producción de ciclos completos de hortalizas en el occidente y noroeste de México en donde se inicia la producción de tomate en condiciones de ambiente semicontrolado ^[4].

Por otra parte la hidroponía no es un concepto nuevo, ha sido un caso de estudio practicado desde nuestros ancestros, muestra de ello es la existencia de jeroglíficos egipcios que datan de cientos de años antes de Cristo, en los cuales, se puede observar la descripción del crecimiento de plantas a lo largo del río Nilo.

Otro ejemplo son los jardines colgantes de Babilonia, descritos por varios autores como una especie de sistema hidropónico pues el agua fresca es ampliamente rica en oxígeno y posee una gran cantidad de nutrientes, base principal de los sistemas hidropónicos ^[5].

Los primeros registros en América, principalmente en México, sobre sistemas hidropónicos son hechos por el historiador e hispanista norteamericano William Prescott (1796 - 1859) quien escribió sobre las crónicas de la devastación del imperio azteca por parte de los españoles,

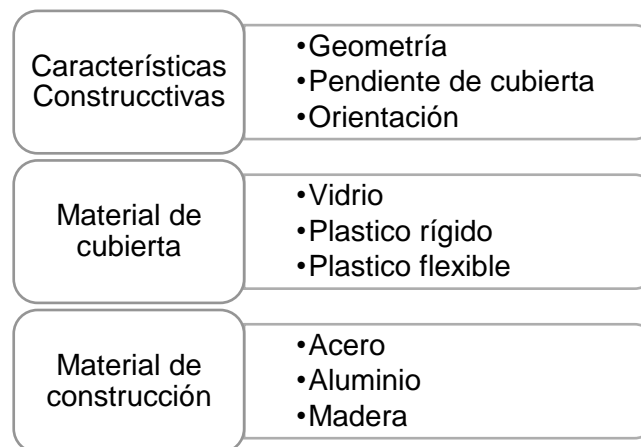
describe a las chinampas como “Asombrosas Islas de Verduras, que se mueven como las balsas sobre el agua” (Beltrano y Gimenez, 2015, p.15).

2.2 ¿Qué es un invernadero?

Un invernadero o invernáculo es una construcción de estructura metálica, cubierta por una película plástica especial de alta durabilidad que funciona como filtro y protección, particularmente utilizada para fines agrícolas, cuyo objetivo es simular condiciones climatológicas óptimas para el cultivo, crecimiento y desarrollo de hortalizas, frutas o verduras durante cualquier época del año sin importar los factores meteorológicos del medio exterior ^[6].

2.2.1 Tipos de invernadero

Según Zabeltitz (1999) se pueden clasificar a los invernaderos dependiendo la estructura, materiales y forma de construcción ^[7].



Agrupación de invernaderos.

A continuación se enuncian algunos de los invernaderos más importantes y comunes así como sus ventajas y desventajas.

- **Invernadero Plano.** Este tipo de invernadero se utiliza en zonas de poca precipitación pluvial, aunque su construcción no es muy aconsejable. La característica principal de este tipo de invernaderos es su estructura constituida en dos partes claramente diferenciadas por la estructura horizontal y otra vertical.

La estructura vertical está constituida por soportes rígidos, también llamados perimetrales, dichos soportes tienen una inclinación hacia el exterior de aproximadamente 30° con respecto a la vertical. Por otro lado la estructura horizontal se encuentra constituida por mallas de alambre galvanizado superpuestas, implementadas manualmente de forma simultáneamente a la construcción del invernadero y sirve para portar y sujetar la lámina de plástico.



Figura 1. Invernadero tipo plano.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Construcción bastante económica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poco volumen de aire y en consecuencia escasa ventilación.
<ul style="list-style-type: none"> • Gran adaptabilidad a la geometría del terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> • No aconsejable en zonas de mucha lluvia.
<ul style="list-style-type: none"> • Uniformidad luminosa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido envejecimiento en la instalación.

Tabla 1. Invernadero tipo plano.

- **Invernadero tipo túnel.** Este tipo de invernadero se caracteriza por tener una estructura semicilíndrica como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Invernadero tipo túnel.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente pequeños.
<ul style="list-style-type: none"> • Alta transmisión en luz solar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solamente para cultivos de bajo a mediano porte.
<ul style="list-style-type: none"> • Gran resistencia a las corrientes de viento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Escasa inercia térmica.

Tabla 2. Invernadero tipo túnel.

- **Invernadero tipo diente de sierra.** En este tipo de invernaderos se mejoran las capacidades aerodinámicas y mayor aprovechamiento del clima extremo dentro de la estructura, su característica principal es que la construcción del techo debe ser inclinada en un ángulo de 5° - 15° con orientación de este-oeste y con presentación del techo hacia la posición del sur-norte dentro del hemisferio sur y contrario en el hemisferio norte, la estructura de este tipo de invernaderos se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Invernadero tipo Diente de Sierra.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de mediana complejidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor volumen de aire encerrado.
<ul style="list-style-type: none"> • Empleo de materiales de bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Demasiada sombra debido a la gran cantidad de elementos estructurales para el sostén.

Tabla 3. Invernadero tipo Diente de Sierra.

- **Invernadero capilla a dos aguas.** Es una de las estructuras más antiguas, el techo es en forma de dos planos inclinados y es el más usual. La pendiente del techo depende de la radiación y los niveles de pluviometría, aunque los parámetros normalmente se encuentran entre 15° y 35 ° de inclinación (Figura 4).



Figura 4. Invernadero tipo capilla a dos aguas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de mediana a baja complejidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas de ventilación.
<ul style="list-style-type: none"> • Materiales a utilizar de bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> • A igual altura cenital, tiene menor volumen encerrado que los invernaderos curvos.

Tabla 4. Invernadero tipo capilla a dos aguas.

- **Invernadero tipo holandés.** Este tipo de invernaderos son básicamente casas de vidrio (Figura 5) pues es indispensable el uso de este material para la cubierta. Comúnmente en estos invernaderos se emplean en el norte de Europa, principalmente en Holanda, de ahí el nombre.



Figura 5. Invernadero tipo holandés.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Mejor comportamiento térmico debido a los materiales utilizados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo elevado.
<ul style="list-style-type: none"> • Duración de varios años. 	<ul style="list-style-type: none"> • Amplio número de elementos de sostén.
<ul style="list-style-type: none"> • Alto grado de control para las condiciones ambientales. 	

Tabla 5. Invernadero tipo holandés.

2.3 ¿Qué es la hidroponía?

La definición de hidroponía se deriva del griego *Hydro* (agua) y *Ponos* (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua [8].

La hidroponía, entonces, es considerada como un sistema de cultivo acuoso que permite el desarrollo de las plantas sin necesidad del suelo (denominada también como agricultura sin suelo); sin embargo, para sustituir los minerales y nutrientes requeridos se suele emplear una fórmula de disolución en agua y así sustituir dichos elementos esenciales requeridos en el crecimiento de la planta.

La Figura 6 muestra el diagrama de bloques de como se encuentra constituido un sistema hidrponico.

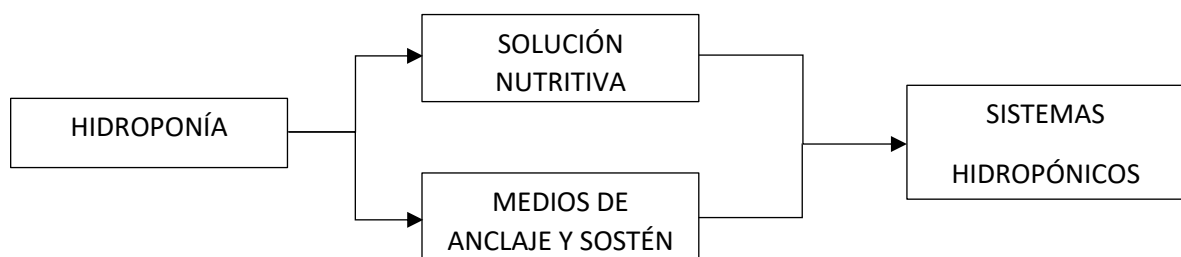


Figura 6. Constitución de sistema hidropónico.

2.4 Sistemas hidropónicos

La técnica de cultivo en hidroponía se clasifica en dos sistemas: sistemas hidropónicos abiertos; en el cual la solución acuosa con minerales y nutrientes es agregada en cada fase de riego. Y los sistemas hidropónicos cerrados: en este tipo de sistema la solución nutritiva se reutiliza debido a que el flujo de agua recircula mediante canales durante varios ciclos ^[9]. (Figura 7).

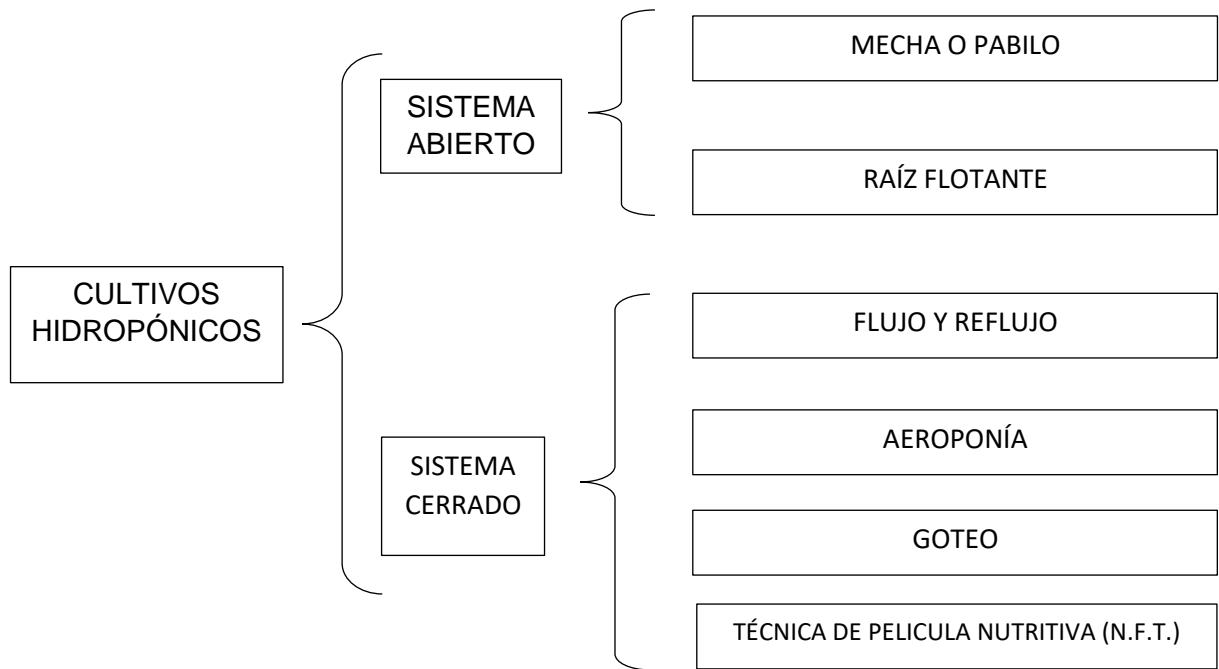


Figura 7. Clasificación de cultivos hidropónicos.

En este trabajo se implementa la técnica N.F.T.

2.5 Sistema N.F.T

El sistema cerrado de cultivo hidropónico N.F.T. es también conocido como la técnica de película de nutrientes por sus siglas en inglés (***Nutrient Film Technique***). Este sistema se basa en el recirculamiento de una pequeña cantidad de agua que es bombeada a través de un ducto o tubería que contiene una solución nutritiva disuelta en agua, dicha solución es captada por las raíces del cultivo, la cual toma las cantidades y elementos necesarios para su desarrollo y vuelve al depósito o estanque.

Los primeros reportes de este tipo de sistemas se remontan a la década de los 60 por medio del Dr. Allan Cooper, un científico de la estación de investigación de cultivos de invernadero en Inglaterra que publicó el libro “el ABC de N.F.T” ^[10].

Por su diseño, la N.F.T proporciona un sistema en el que los tres requisitos principales para un crecimiento saludable de las plantas (agua, oxígeno y nutrientes) puedan ser de gran satisfacción y aprovechados al mismo tiempo.

En la N.F.T para un sistema óptimo se establecen estándares en los que la longitud del canal no debe exceder de los 10 – 15 metros, pues aunque los niveles de oxígeno se mantienen estables, en cuanto a los niveles de nitrógeno disminuyen cuando la longitud es mayor a estos rangos, por otra parte el flujo en cada canal debe de estar entre los parámetros de 1.5 lt/min – 2.5 lt/min fuera de estas velocidades de flujo se producen problemas nutricionales y por consecuencia de crecimiento para la planta.

Debido a que existe una relación directa entre la temperatura y la cantidad de oxígeno en la solución nutritiva, se debe cuidar que en dicha solución la temperatura se mantenga por debajo de los 22°C ya que si es superior, la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en la solución nutritiva tenderá a disminuir y no será suficiente para abastecer la demanda de las plántulas, en este caso será necesario contar con una bomba de aire para reponer la pérdida de oxígeno que provoca la elevación de la temperatura ^[11].

Otro factor que se debe de tener en cuenta es el nivel de pH (Potencial Hidrógeno) que es una medida de acidez o alcalinidad en una solución. El pH indica la concentración de iones hidrógeno presentes en determinadas disoluciones, en general, la absorción máxima de un ión ocurre entre pH 5 y 7. Normalmente se mantiene el pH en los rangos de 5.5 y 6.5, en la mayoría de los cultivos en invernaderos ^[12].

Por último y no menos importante detalle a considerar en la N.F.T son las buenas condiciones de higiene y evitar a toda costa la contaminación de metales pesados por ello es recomendable el uso de bombas, filtros y demás componentes en materiales plástico o de acero inoxidable.

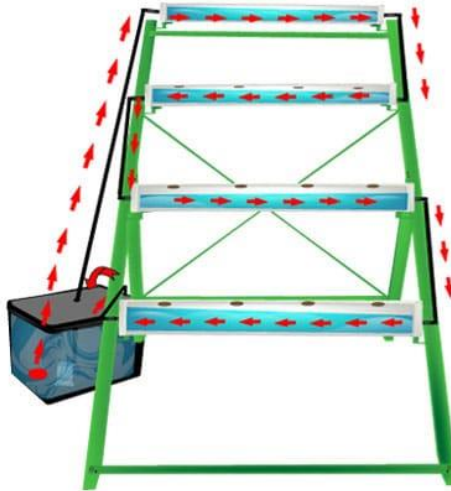


Figura 8. Sistema hidropónico N.F.T.

2.6 Ventajas y desventajas

En el sistema N.F.T contamos con una lista de ventajas y desventajas que a continuación serán enunciadas.

VENTAJAS

- Mayor concentración de plantas por metro cuadrado.
- Cultivo de amplia variedad principalmente en hortalizas para consumo fresco y de alta calidad.
- Menor consumo de agua que en cualquier otra técnica de cultivo, inclusive que en cultivo por tierra.
- Mayor uniformidad entre los nutrientes de la planta.
- Control sobre plagas y enfermedades ya que las plantas dañadas pueden ser fácilmente removidas.
- Algunas plantas pueden ser cultivadas inclusive fuera de temporada que en cultivo tradicional.
- En algunos casos y si es manejado de manera correcta el crecimiento del producto es acelerado; es decir, el tiempo de desarrollo de la planta se acorta permitiendo así tener mayor productividad durante el año y como consecuencia mayores ganancias.

DESVENTAJAS

- El cuidado de la planta dependerá completamente del hidrocultor, a diferencia de cultivo en tierra, la planta puede desarrollarse por cuenta propia. (Por eso la motivación de automatizar para reducir el tiempo de trabajo del hidrocultor).
- Se debe de tener un cuidado adecuado de la solución nutritiva.
- Los costos iniciales para este tipo de sistemas son considerablemente altos debido a que se requiere tener el equipo mínimo indispensable para comenzar con el proyecto.

Capítulo 3. Diagrama general del sistema de automatización, variables de control, sensores y actuadores

En el presente capítulo se desarrolla la arquitectura de operación del sistema. Se especifican los parámetros de control contenidos en el hardware, el cual está compuesto por los sensores de temperatura LM35 y el sensor de pH con sonda, así como los actuadores los cuales constan de ventilador/extractor, calentador de aire, bomba de aire y la electrobomba sumergible.

3.1. Diagrama general del sistema

En la Figura 9 se muestra el diagrama de bloques correspondiente al diseño de manera general de la automatización y control del sistema N.F.T para el invernadero hidropónico.

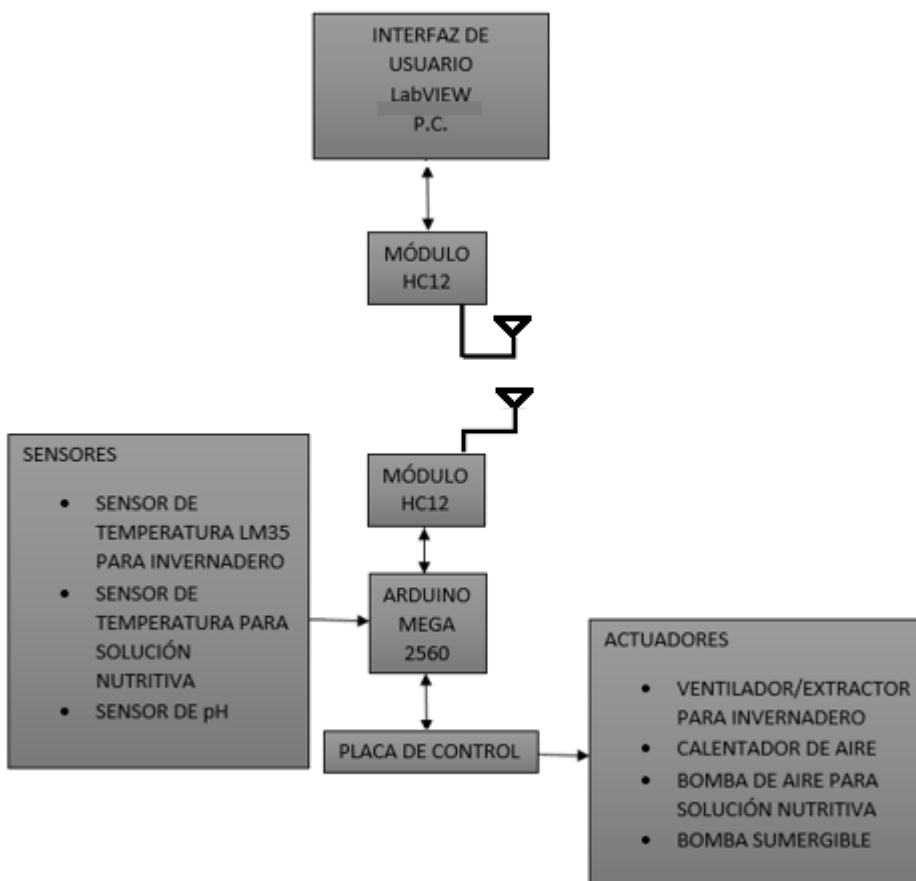


Figura 9. Diagrama de bloques del sistema.

3.2 Salidas de control

Las variables a controlar son:

- Temperatura del invernadero.
- pH de la solución nutritiva.
- Periodo de recirculación de la solución nutritiva.
- Temperatura y oxigenación de la solución nutritiva.

3.3 Control de temperatura del invernadero

La temperatura es un factor determinante para el metabolismo de la plántula, los rangos idóneos dentro de un invernadero varían respecto al cultivo y/o etapas de desarrollo en las que se encuentre el mismo. Staritsky G. (1980), indica que los cultivos son muy sensibles a los cambios de temperatura, encontró que a temperaturas mayores de 30°C provocan el cese de crecimiento ^[13].

Regularmente la temperatura mínima que se requiere oscila entre los 10°C – 15°C y de 30°C como máxima; en la medida que la temperatura aumenta o disminuye, la absorción y asimilación de los nutrientes también lo hace.

Resulta complicado mantener temperaturas frescas dentro de un invernadero, sobre todo en verano, por ello es conveniente contar con un sistema de ventilación en la cubierta. Mientras que en épocas de frío (invierno) se debe tener un sistema de calefacción para así poder evitar temperaturas menores a los 15°C.

El objetivo de contar con un control de temperatura de manera dinámica es optimizar el aporte de calor o ventilación dentro del invernadero, esto significa maximizar la tasa de producción.

3.3.1 Sensor LM35

El LM35 (Figura 10) es un sensor de temperatura con una resolución calibrada de 10mV/°C, puede funcionar con alimentación simple o alimentación doble (+ y -), es uno de los componentes más utilizados a la hora de medir los cambios térmicos en un cuerpo u objeto. Su rango de medición abarca desde -55 °C hasta 150 °C. La salida es lineal y cada grado centígrado equivale a 10 mV.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS LM35
• Calibrado directamente en grados centígrados (°C)
• Tensión, rango de detección precisión: $\pm 0,4$ ° C
• Lineal. Salida de 10 mV/°C
• Corriente de suministro: 60 mA
• Baja impedancia de salida: 0.1 Ω con carga de 1 mA
• Rango de voltaje de alimentación: 4 V a 30 V
• Temperatura de operación: -55 °C a +150 °C
• Tipo de encapsulado del sensor: TO-92
• Bajo auto calentamiento (0.08 °C en aire estático)
• Bajo costo

Tabla 6. Especificaciones del LM35.

3.3.2 Sistema de calefacción

La calefacción es imprescindible para lidiar con las bajas temperaturas. Los tipos de calefacción se pueden dividir según la fuente de energía (biomasa, geotérmica, solar, eléctrica y gas) o según el aparato o sistema a partir del cual se obtiene el calor (suelo radiante, bomba de aire, eléctrica por acumuladores, eléctrica por convectores, emisores termoeléctricos y calderas con radiadores de agua).

Por otra parte existen tres formas para transferir el calor, estas son por conducción, convección y radiación. Para el diseño del sistema de calefacción se tiene que procurar que el aporte del suministro de calor además de ser eficiente también sea eficaz y ser distribuido de manera uniforme dentro del invernadero para garantizar las condiciones necesarias requeridas dependiendo el cultivo.

Se debe de tener en cuenta que la mayoría de las pérdidas de calor dentro de un invernadero son producidas por medio de las paredes y el techo, esto depende en gran medida de las características del material de cubierta.

Para el desarrollo de este proyecto se opta por implementar el sistema de calefacción por radiación eléctrica, es decir, que se hace pasar aire caliente a través de una resistencia eléctrica para luego ser impulsado dentro de la atmósfera del invernadero por medio de un ventilador.

Tomando en cuenta las condiciones anteriores se utiliza un calentador travel aire 1320 30-H-252 (Figura 12) cuyas características se muestran en la tabla 7.



Figura 12. Calentador de aire.

CARACTERÍSTICAS	
MODELO	30-H-252
POTENCIA	1.3 KW
TENSIÓN	127V
CORRIENTE	10.9 A
FRECUENCIA	60 Hz
BTU	4500
FASE	1

Tabla 7. Especificaciones del calentador.

3.3.3 Sistema de ventilación

De todos los factores que debemos controlar en un cultivo el más importante es, sin lugar a dudas, el aire que rodea a las plantas.

En primer lugar la ventilación afecta la temperatura. En horas de alta insolación se necesita hacer circular el aire dentro del invernadero de manera homogénea, esto permitirá provocar intercambios suaves entre la temperatura exterior, la interior y la del fruto y así limitar un aumento de temperatura.

En segundo lugar, la falta de ventilación afecta negativamente a la composición del aire. La entrada de aire es la fuente de enriquecimiento del CO₂. Un invernadero mal ventilado provoca un déficit y un mal reparto del Anhídrido Carbónico.

En tercer lugar la humedad provocada durante los meses más fríos se acumula en la cubierta interior del invernadero, provocando condensación y en consecuencia el goteo sobre el cultivo. Además de provocar la falta de radiación solar, la aparición de ciertas enfermedades criptogámicas (enfermedad de la planta causada por hongos) y la deficiencia de minerales en los cultivos, lo que dificulta la transpiración.

La respiración de la planta crece al aumentar la temperatura, hasta alcanzar un máximo de 30°C – 40°C. Por encima de estas temperaturas la actividad de la planta decrece e inclusive se comienzan a destruir los tejidos enzimáticos para provocar posteriormente la muerte de la planta.

La ventilación entonces, consistirá en la renovación del aire dentro del invernadero. Al renovar el aire se actúa sobre la temperatura, la humedad el contenido de CO₂ y el oxígeno que hay dentro del invernadero.

Los sistemas de ventilación se clasifican en dos: pasiva o natural y activa o forzada.

VENTILACIÓN NATURAL O PASIVA: Se basa en la disposición, en las paredes y en el techo del invernadero de un sistema de ventanas que permite la aparición de una serie de corrientes de aire que contribuyen a disminuir las temperaturas elevadas y a reducir el nivel higrométrico (grado de humedad en el aire).

Las ventanas pueden ser cenitales si se disponen en la techumbre o laterales si están colocadas sobre las paredes laterales del invernadero.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Costos de instalación y de mantenimiento bajos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nula capacidad de controlar las condiciones climáticas dentro del invernadero.
<ul style="list-style-type: none"> • No depende de la energía eléctrica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran dependencia de las condiciones climáticas externas.

Tabla 8. Ventajas y desventajas de la ventilación.

VENTILACIÓN FORZADA O ACTIVA: En este tipo de ventilación se instalan sistemas que tendrán como función crear condiciones de clima ideales, tales como: ventiladores, circuladores de aire, extractores de aire, etcétera.

Dentro de este tipo de ventilación se le permitirá al agricultor no solo suministrar ventilación al invernadero, sino también crear las condiciones óptimas que ayudarán a mantener un rendimiento mayor y así mismo una mejor calidad del cultivo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> Control total y monitoreo en las condiciones climáticas deseadas dentro del invernadero. 	<ul style="list-style-type: none"> Alto costo.
<ul style="list-style-type: none"> Mejores y mayores resultados independientemente de los factores del clima externos. 	<ul style="list-style-type: none"> Depende de energía eléctrica.

Tabla 9. Ventajas y desventajas de la ventilación.

TIPOS DE VENTILADORES

Los ventiladores pueden ser clasificados en:

- Ventiladores para el hogar.
 - De mesa: Se caracteriza por no ser poseedor de una alta potencia. Es por ello que se utilizan en espacios donde la ventilación no representa un gran problema.
 - De pared: Este tipo de ventiladores es utilizado para que el aire circule, sobre todo en aquellos ambientes que tienden a ser pequeños. Estos son colocados sobre la pared, sobre todo en aquellos ambientes que tienden a ser muy alargados.
 - De techo: La disposición de estos ventiladores es horizontal, movilizándolo el aire de arriba hacia abajo. Estos ventiladores suelen ser muy utilizados, sobre todo en aquellos espacios donde no hay suficiente espacio para colocarlos en el suelo o en las paredes. Sin embargo, hay que ser muy cuidadoso con ellos ya que si no están bien colocados pueden generar accidentes graves por caídas.
 - De piso: Estos ventiladores son de gran comodidad ya que son portátiles, pudiendo ser acomodados en cualquier espacio que se lo desee. Además, generalmente, suelen

ser muy silenciosos. Existe una enorme variedad en cuanto a sus diseños y dimensiones.

- Ventiladores industriales.
 - Axiales: posee un rotor que contiene como máximo trece aspas. El movimiento del aire es en forma recta.

 - Centrífugos: genera que la corriente de aire cambie su orientación, desde el lugar donde ingreso, hasta la salida en un ángulo de noventa grados. Pueden ser clasificados en paletas radiales, inclinado hacia adelante o hacia atrás, redondeado hacia adelante, tip radial y airfoil.

 - Helicoidales: esta clase de ventiladores puede ser clasificados según su caudal y tamaño. Algunos de ellos pueden ser colocados en paredes. Además pueden llegar a ser ruidosos es por ello que algunos poseen una protección para que aisle los ruidos.

EXTRACTOR

Los extractores de aire son aparatos que ayudan a la buena ventilación de los espacios cerrados, asegurando que el aire se encuentre en buenas condiciones y que no resulte peligroso e incómodo respirar en ese espacio. Un extractor de aire funciona a través de un mecanismo similar al de un ventilador, es decir, a partir de un juego de hélices conectado a un motor que lo mantiene en movimiento.

Sin embargo, mientras los ventiladores propagan el aire que se encuentra en el espacio en el que están instalados, un extractor de aire aspira el aire de la sala y lo expulsa al exterior de manera que siempre se esté renovando.

Los extractores de aire ayudan a regular la humedad y temperatura del ambiente de un espacio cerrado, además contribuyen a la eliminación de la presencia de elementos tóxicos en el aire, principalmente gases. También elimina sustancias que se propagan en el ambiente, potencialmente explosivas, tóxicas e incluso venenosas.

Existen diferentes tipos de extractores de aire y se clasifican según el tipo de ventilador que emplean para su funcionamiento, su capacidad de extracción de aire y su modo de instalación.

En términos generales podemos encontrar dos tipos de extractores: atmosféricos o eólicos y extractores axiales.

- Los extractores atmosféricos o eólicos son ideales para la ventilación de espacios industriales de grandes dimensiones, bodegas y almacenes. Este tipo de extractores no requieren de una fuente de alimentación energética artificial pues funcionan por el viento y por la diferencia de la temperatura exterior e interior, de manera ininterrumpida. Instalar un extractor atmosférico es sencillo y no requiere que se realicen modificaciones especiales en la estructura del edificio: este tipo de extractor no produce ruido, es impermeable y no requiere de mantenimiento.

Están formados por tres partes: base, extractor y clapeta. La base es la parte que sostiene el extractor al techo y está construida de manera tal que se pueda instalar en cualquier tipo de superficie; el extractor es la parte giratoria constituida por paletas curvas de aluminio, llamadas álabes, que se pone en funcionamiento con el viento; la clapeta es una válvula que funciona como obturador de paso de aire y se encuentra en algunos modelos de extractor eólico para regular la salida y paso de aire.

- Los extractores axiales emplean un motor montado sobre su propio eje y están compuestos por un rotor de entre 2 y 13 paletas. Hay de tres tipos: helicoidales, tubulares y tubulares con directrices. Los extractores axiales helicoidales son utilizados para ventilación general y se caracterizan por mover aire con bajas presiones. Se fabrican con dos tipos de álabes: estrechas, para resistencias bajas, y de disco, para ventiladores sin conductos.

Existen extractores de aire axiales y atmosféricos para uso industrial y para uso domiciliario. Para elegir el extractor de aire que se ajuste mejor a nuestras necesidades es necesario tomar en cuenta principalmente dos factores.

El primero de ellos es la dimensión del espacio en que se instalará, de esta manera sabremos qué volumen de aire se tiene que extraer y podremos buscar el modelo que cumple con ese requerimiento. Se recomienda que el nivel de extracción de aire del aparato sea 10 veces superior al volumen del aire del espacio en que se instale.

El segundo factor es el lugar específico en que se instalará, esto ayudará a determinar la potencia del extractor que se requiera, recordando que a mayor potencia: mayor ruido.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores tenemos que las condiciones de un invernadero se mejoran eficientemente con el uso de ventiladores de flujo horizontal. Los

ventiladores trabajan al empujar el aire del invernadero logrando así la circulación del aire dentro del mismo mientras que el extractor está destinado a la renovación de aire en el invernadero.

En la implementación del invernadero, para mantener el aire fresco dentro del mismo, se opta por la instalación de un sistema de ventilación forzada por medio de ventiladores y extractores para forzar a que el aire dentro del invernadero se mantenga fresco.

Utilizamos un ventilador tipo pedestal (Figura 13), por la versatilidad de sus diseños, así mismo se opta por eliminar el poste principal para ser montado en la parte superior del invernadero y hacer que el aire caliente, que por su densidad es más pesado y se encontrará en la parte superior del invernadero, pueda ser empujado hacia los extractores, facilitando el flujo de aire caliente hacia el exterior.



Figura 13. Ventilador tipo pedestal.

CARACTERÍSTICAS	
MODELO	3139
TIPO	PEDESTAL
TENSION	127 V
CORRIENTE	0.43 A
FRECUENCIA	60 Hz
POTENCIA	54 W

Tabla 10. Especificaciones del ventilador.

De igual manera se decide colocar dos pares de extractores axiales helicoidales de siete aspas (Figura 14). Por medio de estos extractores se expulsará el aire caliente dentro del invernadero, provocando una renovación y así conservar la temperatura lo más fresco posible dentro del invernadero.



Figura 14. Extractores axiales helicoidales.

CARACTERÍSTICAS	
TIPO	EXTRACTOR AXIAL
MODELO	HELOCOIDAL 7 ASPAS
TENSIÓN	12 V
CORRIENTE	7 A
POTENCIA	84 W

Tabla 11. Extractores axiales helicoidales.

3.4 Control de la Temperatura en la solución nutritiva

Uno de los factores más importantes y que rara vez es tomado en cuenta por las personas en el cultivo hidropónico es la temperatura de la solución nutritiva. Dado que la solución nutritiva proporciona todos los nutrientes necesarios a las plantas, es de vital importancia que la solución este en las condiciones adecuadas para que estos nutrientes puedan ser absorbidos.

La importancia de la temperatura de la solución nutritiva es muchas veces desestimada como una variable poco importante aunque cambios en la temperatura del medio de cultivo y la solución pueden ocasionar graves deficiencias nutritivas. Por ejemplo, las plantas son incapaces de captar oxígeno cuando la temperatura de las soluciones nutritivas está por encima de los 22°C.

La falta de oxígeno reduce la absorción de agua y minerales por parte de la planta, con repercusiones en el crecimiento aéreo y radicular y, en consecuencia, en el rendimiento final.

Raíces saludables, con buen suministro de oxígeno, son capaces de absorber más selectivamente los iones de la solución. La energía metabólica que es requerida para este proceso es obtenida de la respiración radicular, la cual es inhibida por la falta de oxígeno. Es decir, en sistemas radiculares, puede haber una pérdida neta de iones (Jackson, 1980).

La falta de oxígeno reduce la permeabilidad de las raíces al agua y habrá una acumulación de toxinas; así el agua y los minerales no pueden ser absorbidos en cantidades suficientes para el crecimiento bajo condiciones de estrés, provocando marchitamiento en las plántulas. Este marchitamiento está acompañado por una disminución en la fotosíntesis y transferencia de carbohidratos; por lo tanto, el crecimiento de la planta es reducido y el rendimiento se verá afectado. Si la falta de oxígeno continúa, las deficiencias comenzarán a manifestarse, las raíces morirán y la planta no desarrollará. Una vez que ha comenzado el deterioro de la raíz, provocado por la anaerobiosis, los patógenos oportunistas como el *Pythium* pueden entrar rápidamente a la planta y destruirla. (Lynette Morgan, 2001).

Una consecuencia secundaria, al disminuir el oxígeno, es la aparición de poblaciones de microorganismos no deseados en el medio, la importancia de este factor se ve al observar la estrecha correlación exponencial entre la concentración de oxígeno en la solución nutritiva y los pesos secos de la raíz y vástago (Zeroni, 1983).

Si la falta de oxígeno continúa y es severa habrá clorosis de las hojas (amarillamiento), abscisión prematura de hojas y flores. La hormona responsable del envejecimiento prematuro y abscisión de la hoja es el *ácido abscísico*, el cual se ha demostrado que está presente en grandes cantidades si la raíz está inundada (Jackson, 1980).

La disponibilidad de oxígeno está muy relacionada con la temperatura, la estrecha correlación entre ella es inversa, de forma que en una disolución nutritiva disminuye el oxígeno disuelto conforme aumenta de temperatura, mientras que el efecto contrario ocurre con la capacidad de difusión del mismo, por lo que en parte estos fenómenos se compensan sin llegar a equilibrarse. Esta razón hace que el valor absoluto de oxígeno en una disolución nutritiva previamente saturada con aire a presión sea menor en las horas centrales del día, y en la época estival, donde la temperatura en un cultivo es mayor, y la tasa de respiración de la raíz aumenta (Morard y Silvestre, 1996).

Normalmente asumimos que las raíces de los cultivos implantados en sistemas hidropónicos obtienen el oxígeno de la solución nutritiva. Sin embargo, existen otras fuentes de oxígeno.

Primero, el oxígeno puede ser transportado dentro de la planta; la parte superior de la planta tiene acceso al oxígeno del aire y éste puede ser transportado hacia las raíces en caso de estrés. Segundo, bajo condiciones de un inadecuado suministro de oxígeno externo, las tasas de absorción de nitrato y su reducción del tejido radicular tiende a aumentar, lo que provee una fuente interna de oxígeno atómico el cual puede ser utilizado en procesos metabólicos sustituyendo al oxígeno externo (Gilbert y Shive, 1942). El oxígeno es liberado cuando las plantas reducen los iones de nitrato absorbidos y este oxígeno está disponible para ser utilizado por las células vegetales (Pepkowitz y Shive, 1944). A pesar de esto, las fuentes de oxígeno interno por sí solas son a corto plazo y no pueden proveer la suficiente cantidad de oxígeno requerido para sostener un buen crecimiento.

Cuando se trata de un sistema N.F.T, el propio diseño permite ir aumentando la oxigenación de la disolución nutritiva a medida que ésta circula por el canal; sin embargo, en la práctica la demanda de oxígeno por las raíces es superior a la oxigenación que el diseño físico del sistema genera en la disolución recirculante.

Por ello el método de aireación utilizado en el presente proyecto, es el burbujeo de aire de forma intermitente por medio de una bomba de aire, cuando la temperatura supere los 22°C.



Figura 15. Bomba de aire ELITE 800.

CARACTERÍSTICAS	
MODELO	ELITE 800
CAPACIDAD	40 L
TENSION	127 V
CORRIENTE	0.016 A
POTENCIA	2 WATTS

Tabla 12. Especificaciones de la Bomba de aire ELITE 800.

3.5 Control del periodo de recirculación de la solución nutritiva

Dentro de los sistemas hidropónicos especialmente en el sistema N.F.T una de las características principales es el suministro de agua a la plántula, esta se da por medio de una bomba cuya función será impulsar la solución nutritiva contenida en un estanque hacia el área de siembra por medio de canales de distribución de manera recirculante.

El flujo de la solución nutritiva debe de ser aproximadamente de 1.5 a 2.5 lt/min por cada canal, esto debido a que se debe de proporcionar un porcentaje de aireación dentro del sistema, el cual nos ayudará a garantizar la presencia de oxígeno en la solución nutritiva.

Es importante utilizar una bomba simple (centrífuga), ya que el caudal no es tan grande y la altura manométrica no sobrepasa 1,5m en un terreno plano. El cálculo debe incluir la altura, el caudal por canal y el número de canales a ser abastecidos. Dimensionar también con una holgura, previendo un retorno al depósito para mejorar la oxigenación.

El dimensionamiento se realiza en función del número de bancos y líneas a ser alimentadas. Como regla general se calcula el caudal en cerca de 1.5 a 2.5 lt/min en cada línea. Para hacer este cálculo sin problemas se toma en cuenta nuestro sistema de 8 líneas; por lo tanto, tendríamos $8 \text{ líneas} \times 2,5 \text{ L / min} = 20 \text{ L/min} = 1200 \text{ litros / hora}$. Obteniendo este resultado, sabemos que el sistema consume aproximadamente 1200 litros por hora y a partir de esto se elige el tipo de bomba que se requiere, es por eso que se opta por una bomba sumergible SFP-300 (Figura 16) que cumple con las características necesarias para el diseño del proyecto.

Para el caso N.F.T, Romer (1993) recomienda para el cultivo hidropónico 20 minutos del flujo y 20 de interrupción del mismo. Aunque estos intervalos de tiempos no garantizan la oxigenación óptima en el sistema, que como se ha explicado anteriormente, depende de la temperatura dentro de la solución nutritiva.



Figura 16. Bomba sumergible SFP- 300.

CARACTERÍSTICAS	
MODELO	SFP-300
CAPACIDAD	1200 L/H
ALTURA	1,50 metros
TENSIÓN	127 V
CORRIENTE	7.4 A
FRECUENCIA	60 Hz
POTENCIA	17 W

Tabla 13. Especificaciones de la bomba sumergible SFP- 300.

3.6 Control de pH

El pH es la medida de iones hidrógeno en el agua, cuantos más iones, más bajo el pH y más ácido. Una solución es más básica (o alcalina) cuantos menos iones hidrógeno tenga, o lo que es lo mismo, su pH es más elevado. La escala de pH varía de 0 a 14.

El pH de la solución nutritiva describe su acidez o alcalinidad. Los extremos del pH pueden dañar las raíces, pero la razón principal del pH es relevante y la disponibilidad de los nutrientes en la solución nutritiva.

Las raíces pueden absorber determinados iones más fácilmente a determinados rangos de pH, unos mejor a rangos más básicos y otros más ácidos. Las plantas tienden a preferir pH ligeramente ácidos, aunque puede variar dependiendo de la planta. Se considera el rango pH 5.5 – 6.5 como el mejor para disponer de todos los nutrientes como lo son: Nitrógeno, potasio, calcio, fósforo, magnesio, hierro, zinc, etcétera (Figura 17).

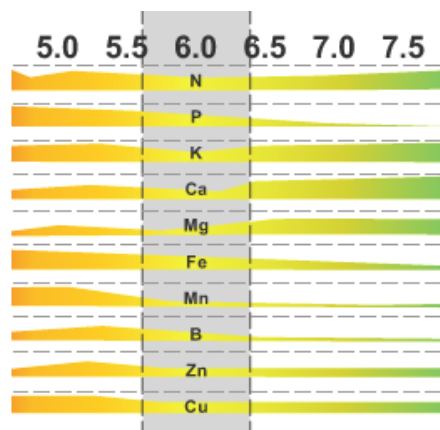


Figura 17. Mayor absorción de nutrientes en rangos de pH.

La deficiencia de un nutriente específico en una solución nutritiva equilibrada puede también exceder el rango de pH óptimo. Por lo tanto, es un beneficio para las plantas controlar y ajustar el pH así como para garantizar la disponibilidad completa de nutrientes.

Muchos factores actúan para cambiar el valor de pH de la solución nutritiva: interacciones atmosféricas, la recirculación o la actividad microbiana.

La medición del pH se origina en una sonda (Figura 18), que es un sistema compuesto por un electrodo de pH cuyo voltaje varía proporcionalmente a la concentración de iones hidrógeno (H^+) en la muestra, y de un electrodo de referencia que provee de un voltaje de referencia estable y constante.

La parte del electrodo de pH está constituida por una delgada membrana sensible al hidrógeno en forma de burbuja de cristal al final de un tubo de cristal inerte. Este tubo está lleno con un electrolito KCl + AgCl (cloruro de potasio más cloruro de plata) y alberga un hilo conductor de plata (Ag) recubierto de AgCl, para llevar la señal eléctrica.

La zona del electrodo de referencia está formada por un tubo de cristal o de plástico que forma la carcasa de la sonda. En su interior se dispone el tubo del electrodo de pH a excepción del bulbo de cristal sensible al hidrógeno. Además, contiene otro tubo de menor diámetro de cristal o de plástico que lleva en su interior un hilo conductor de Ag recubierto de AgCl que porta un voltaje de referencia y sumergido en un electrolito (KCl + AgCl). Este tubo termina en su extremo inferior en una junta cerámica interna (las juntas cerámicas se comportan como conductores líquidos) que lo conecta con el electrolito (KCl) contenido en el tubo carcasa. Este último tiene otra junta cerámica externa que conecta con el líquido exterior o muestra.

Para el monitoreo del pH en la solución nutritiva contamos con el sensor de pH con sonda (Figura 18), mediante este sensor puede cuantificar de forma precisa la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno. Esto es lo que forma la sonda. Además hay que utilizar un circuito electrónico para acondicionar la señal adecuadamente y que podamos usar este sensor con un microcontrolador, como por ejemplo con Arduino.



Figura 18. Sensor de pH con sonda BNC.

CARACTERÍSTICAS	
TENSIÓN	5 V
CORRIENTE	5 – 10 mA
POTENCIA	0.5 W
TEMPERATURA DE TRABAJO	10 – 50 °C
LED VERDE	ALIMENTACIÓN
LED ROJO	LIMITE DE pH

Tabla 14. Especificaciones de sensor de pH con sonda BNC.

Pines:

T ₀	TEMPERATURA
D ₀	SEÑAL DEL LÍMITE DE pH
P ₀	VALOR DE p. EN V
G	CONEXIÓN A TIERRA
G	CONEXIÓN A TIERRA
V ₊	ALIMENTACIÓN (5V)

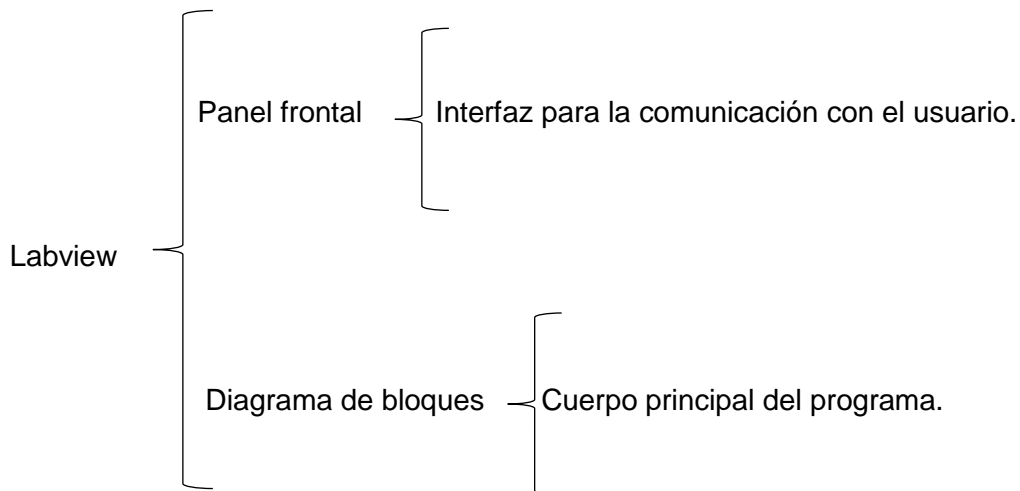
Tabla 15. Pines del sensor de pH con sonda BNC.

Capítulo 4. Introducción a LabVIEW y Arduino para la automatización y control de procesos

4.1 LabVIEW

El software LabVIEW, también llamado programación en *lenguaje G*, es una plataforma y entorno de desarrollo gráfico que ayuda al usuario a visualizar por medio de bloques la aplicación, a desarrollar con los diferentes tipos de sistemas, que tiene prediseñados en él mismo. En este lenguaje de programación se conectan bloques entre sí, haciéndolo más interactivo para el usuario y poder familiarizarse más rápido con el programa teniendo dos partes en su programación ^[14].

Este programa se divide en dos partes: panel frontal y diagrama de bloques.



Panel frontal: Encontraremos distintos tipos de controles o indicadores dependiendo lo que el usuario quiera dar a conocer, proporcionado por el cuerpo principal del programa ^[15].

Diagrama de bloques: Es donde el usuario define las entradas y salidas con terminales del VI (Virtual Instruments), haciendo una función determinada para lo que requiera el proyecto a desarrollar ^[15].

Almacenamiento de datos en LabVIEW: Este software tiene la función de guardar datos del programa ya sea de entrada o salida y crear un informe respecto a los datos adquiridos ^[16].

4.2 Características de LabVIEW

Como se mencionó anteriormente este tipo de programación es gráfico y utiliza bloques en lugar de líneas de texto en código esto es basado en las instrucciones que determinan la forma de ejecutar el programa.

Se puede construir una interfaz para el usuario utilizando las herramientas que contiene el software que es generado por las representaciones gráficas de las diferentes funciones que tiene para controlar diversos objetos ^[17].

Este software también fue diseñado para la adquisición de datos y procesamiento de señales, puede adquirir, medir y analizar datos más rápido del entorno en estudio dado que las señales pueden perder calidad o magnitud, con ayuda de sus diversos filtros. Podemos tener una señal más clara a la obtenida sin algún tipo de filtro.

También cuenta con diversos tipos de comunicación con hardware por ejemplo RS-485, RS-232 entre muchos otros, como también diversas aplicaciones que pueden utilizarse en internet con ayuda de servidores web.

Es posible crear aplicaciones ejecutables, esto quiere decir que podremos utilizar el panel frontal sin necesidad de tener que ejecutar o tener instalado el software de LabVIEW.

Este tipo de programación son llamados instrumentos virtuales o VI, puesto que estos bloques en apariencia y operación imitan a los diferentes tipos de hardwares que existen, tales como multímetros osciloscopios, generadores de señales etcétera. Cada interfaz contiene una función que puede utilizar el usuario así como manipular señales de entrada o salida (desplegar o graficar dicha información).

4.3 Instrumentos Virtuales (VI)

Este software es una programación gráfica diseñado para diversas aplicaciones en la industria o práctica para el análisis o adquisición de datos y el control de instrumentos.

El instrumento virtual simula un panel frontal de instrumentos de medición que con ayuda del hardware puede tomar las medidas y mostrarlas al usuario, haciendo que el panel tenga la apariencia de un control de algún aparato. Esto es más interactivo con el usuario, al ser visual puede mostrar diferentes tipos de objetos como por ejemplo, potenciómetros, indicadores, botones etcétera. ^[18].

Paleta de Controles: Esta paleta únicamente se utiliza en panel frontal, tiene los controles e indicadores que se utilizan y que estarán interactuando con el usuario.



Figura 22. Paleta de controles de LabVIEW.

Paleta de Funciones: Esta paleta solo se utiliza en el diagrama de bloques contiene varias funciones aritméticas como señales de entrada y salida, adquisición de señales, entre otras funciones.

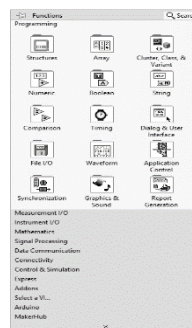


Figura 23. Paleta de funciones de LabVIEW.

4.4 Tipo de Datos

Los diferentes tipos de datos que nos proporciona LabVIEW, tienen diversas funciones, este tipo de datos tienen su color correspondiente a su función [20].

4.4.1 Dato Cadena de caracteres

Este tipo de dato se utiliza para enviar o recibir datos en forma ASCII o cadena de caracteres binarias que pueden convertirse en valores numéricos o mostrarle al usuario por medio de una ventana de dialogo algún mensaje.



Figura 24. Dato de Cadena de caracteres.

4.4.2 Dato Numérico Entero

Se utiliza únicamente para representar datos numéricos, pero estos datos números solamente pueden ser de carácter entero.



Figura 25. Dato Numérico.

4.4.3 Dato Numérico Flotante

Este dato al igual que el dato anterior son numéricos pero con la diferencia que éste es de tipo flotante, esto quiere decir que es de carácter complejo.



Figura 26. Dato Numérico.

4.4.4 Dato Booleano

Los datos Booleanos son utilizados para representar un 0 o un 1 o un True o False como también hacer una representación de datos digitales y funcionar como un conmutador dependiendo la acción que le dé el usuario.



Figura 27. Dato Booleano.

4.4.5 Dato Dinámico.

El dato dinámico puede convertir los datos Booleanos o numéricos de punto flotante en distintos tipos de datos al cual se requiera:

- Arreglo 1D de forma de onda.
- Arreglo 1D de escalares.

- Arreglo 1D de escalares-Valor más reciente.
- Arreglo 1D de escalares-Un solo canal.
- Arreglo 2D de escalares-Columnas son canales.
- Arreglo 2D de escalares-Filas son canales.



Figura 28. Dato Dinámico.

	Tipo de dato	Bits de almacenamiento	Digitos decimales (Aprox.)	Limites	Color
	Precisión extendida Coma flotante	128	33/15 (20)	6,48e-4966 a 1,19e+4932 -6,48e-4966 a -1,19e+4932	Naranja
	Precisión doble Coma flotante	64	15	4,94e-324 a 1,79e+308 -4,94e-324 a -1,79e+308	Naranja
	Precisión simple coma flotante	32	6	1,40e-45 a 3,40e+38 -1,40e-45 a -3,40e+38	Naranja
	Largo Entero con signo	32	9	-2.147.483.648 a 2.147.483.647	Azul
	Palabra Entero con signo	16	4	-32.768 a 32.767	Azul
	Byte Entero con signo	8	2	-128 a 127	Azul
	Largo Entero sin signo	32	9	0 a 4.294.967.295	Azul
	Palabra Entero sin signo	16	4	0 a 65.535	Azul
	Byte Entero sin signo	8	2	0 a 255	Azul
	Precisión Extendida Complejo	256	33/15	Igual que EXT para cada parte (real e imaginario)	Naranja
	Precisión doble Complejo	128	15	Igual que DBL para cada parte (real e imaginario)	Naranja
	Precisión simple Complejo	64	6	Igual que SGL para cada parte (real e imaginario)	Naranja

Figura 29. Tabla de tipos de datos^[20].

4.5 Subrutina o SubVI en LabVIEW

La subrutina es un método de programación que facilita la estructuración del programa, esto funciona principalmente cuando el programa principal hace el llamado de la subrutina esta se ejecutará hasta el final mientras el programa principal se mantiene en estado de espera, los

4.6.1 Estructura *while* (Ciclo *while*)

Este tipo de estructura en la forma de ejecución es muy similar a otros tipos de lenguajes de programación basados en texto. La estructura *while* ejecuta líneas de código que el usuario haya propuesto dentro de la misma. Este tipo de ciclo se puede ver con el ejemplo en diagrama de flujo de la siguiente Figura 31.

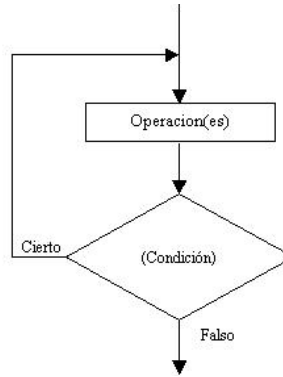


Figura 31. Estructura *while* en diagrama de flujo.

En la estructura se comprobará el estado en el que se encuentra la condición, en caso de que en esta operación el resultado sea cierto el programa continuará con las iteraciones hasta que ésta cambie a falso, cuando ocurra esto la ejecución del programa se dará por terminada.

La siguiente Figura 32 muestra la estructura *while* en el software de LabVIEW con un dato booleano con la terminal de iteración junto con la terminal condicional.

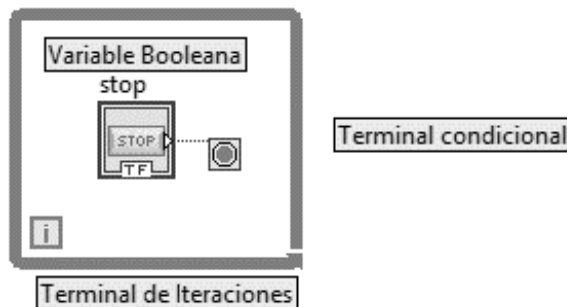


Figura 32. Estructura *while* en Labview.

4.6.2 Estructura for

La estructura for es un subdiagrama que tiene un conjunto de terminales, nodos y líneas que se unen entre sí a lo que se ejecutará un número de iteraciones que el usuario desee ejecutar. La siguiente imagen se muestra un ciclo **for** en diagrama de flujo junto con un número determinado de iteraciones a realizar.

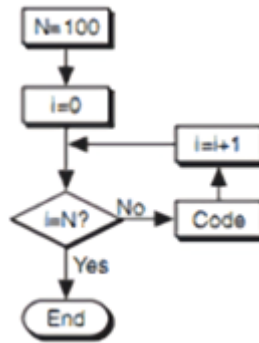


Figura 33. Estructura **for** en diagrama de flujo.

Con este tipo de ciclo se puede tener un registro para observar los datos obtenidos de cada iteración que obtuvo para verificar los datos que ejecuto.

En la siguiente Figura 34 se muestra el **Loop Count** que se le puede ingresar el número de iteraciones que el usuario determina.



Figura 34. Terminal **Loop Count**.

La iteración terminal es la que contiene el número de iteraciones para este ciclo.



Figura 35. Terminal de iteración.

En la Figura 36 se muestra la estructura **for** con el número de iteraciones junto con la terminal de iteración.

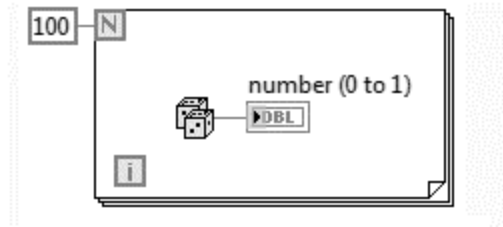


Figura 36. Estructura **for** en LabVIEW.

4.6.3 Estructura por casos

En este tipo de estructuras contiene de dos o más subdiagramas también llamados casos. Dependiendo el valor de entrada que se ingrese al programa dependerá del subdiagrama que se ejecute en la programación.

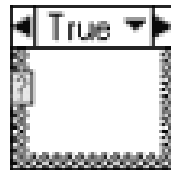


Figura 37. Estructura por Casos en LabVIEW.

4.6.4 Estructura de secuencia

Este tipo de estructuras se ejecutan conforme a la secuencia que se encuentran se ejecutara desde el primer cuadro y así sucesivamente, el dato final solo se obtendrá cuando pase por cada una de las estructuras hasta terminar la última estructura de secuencia.

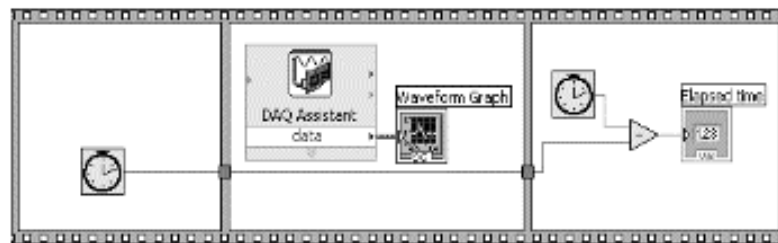
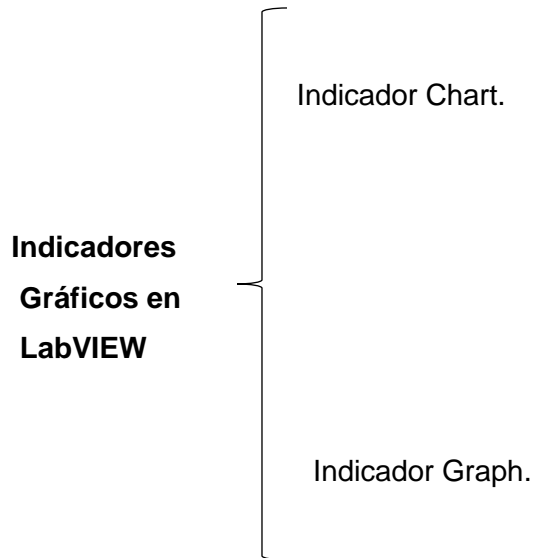


Figura 38. Estructura de secuencia en LabVIEW.

4.7 Indicadores gráficos

Los indicadores gráficos representan datos obtenidos de un arreglo en el diagrama de bloques donde almacena dicha información y se muestra posteriormente de manera gráfica para su análisis ^[24]. Estos indicadores se dividen en dos tipos:



4.7.1 Indicador Chart

El indicador gráfico **Chart** tiene dos formas de mostrar los datos obtenidos respecto al objeto de estudio. Estos dos tipos de indicadores serán descritos.

WaveForm Chart.

Este tipo de indicador logra mostrar una o más graficas en una misma pantalla, haciendo más fácil la comparación de los datos obtenidos para el análisis del objeto en estudio.

En la Figura 39 se puede observar que en un mismo indicador se puede agregar más de una gráfica para la comparación de los datos.

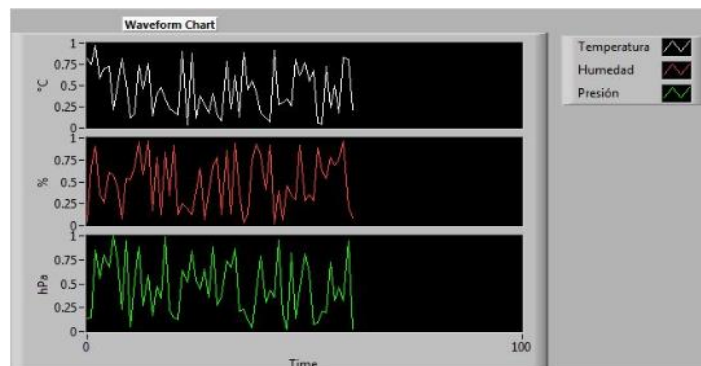


Figura 39. Indicador **Wave Chart Form**.

Intensity Chart

Este indicador logra mostrar los datos y mostrarlos tridimensionalmente mediante bloques de colores colocados sobre un plano cartesiano. Para ello crearemos **arrays** bidimensionales de números donde los índices de un elemento corresponderán a las coordenadas X e Y, y el contenido a la coordenada Z, que tendrá asociado un color para cada posible valor. Previamente será necesario definir la escala de colores mediante el **ítem Z Scale Info**: color **Array** o color **Table**, o a través de la rampa de colores visualizada junto a la gráfica. Evidentemente, la escala de colores que podamos visualizar dependerá de la resolución de nuestro monitor.

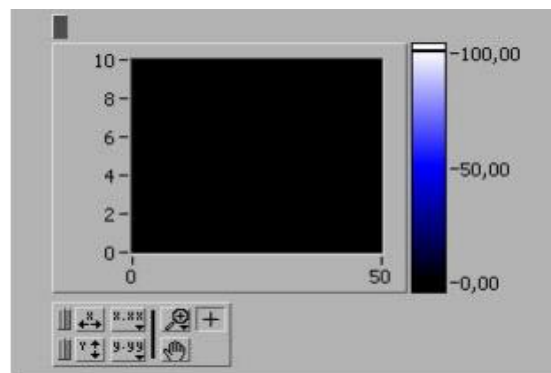


Figura 40. Indicador **Intensity Chart**.

4.7.2 Indicador Graph

El indicador gráfico Graph tiene dos formas de mostrar los datos obtenidos respecto al objeto de estudio. Estos dos tipos de indicadores serán descritos.

WaveForm Graph

Este indicador toma valores de un arreglo en el diagrama de bloques, que se trazan posteriormente en un gráfico, este tipo de datos se toma continuamente, estos datos no se pueden almacenar en un historial solamente se pueden sobrescribir.



Figura 41. *Indicador WaveForm Graph.*

XY Graph

El *XY Graph* es un tipo de gráfica que sobre un punto en el eje X donde varios valores sobre el eje Y se puede obtener funciones circulares. Para tener gráficas de este estilo se especifica en un punto el valor de X, donde los valores de Y comenzarán a desplegarse a partir del eje Y.

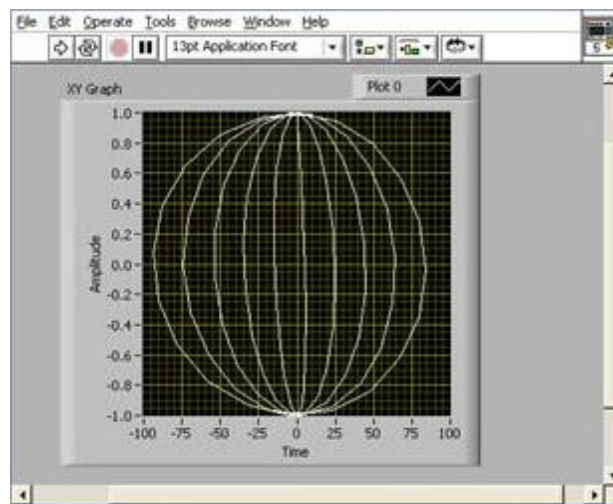


Figura 42. *XY Graph.*

4.8 Arduino

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. [26]

Arduino tiene una infinidad de aplicaciones como el accionar diferentes tipos de dispositivos como el tomar datos por medio de sensores entre muchas aplicaciones, esto programado con un lenguaje basado en **Wiring** en un entorno desarrollado por arduino^[27].

4.8.1 Hardware

Hoy en día existe una gran diversidad de tarjetas Arduino para distintos tipos de aplicaciones. Las diferentes tarjetas tienen distintas características como el número de entradas analógicas, digitales, etcétera.^[28]

4.8.2 Arduino Mega

Esta tarjeta electrónica cuenta con 54 pines las cuales 14 son de salidas de PWM, 16 entradas analógicas, 4 UARTs que tienen como función entablar una comunicación serial al hardware, un cristal oscilador de 16 MHz, conexión USB tipo B, un Jack de alimentación de CA a CC, un conector ICSP y un boton reset^[29].

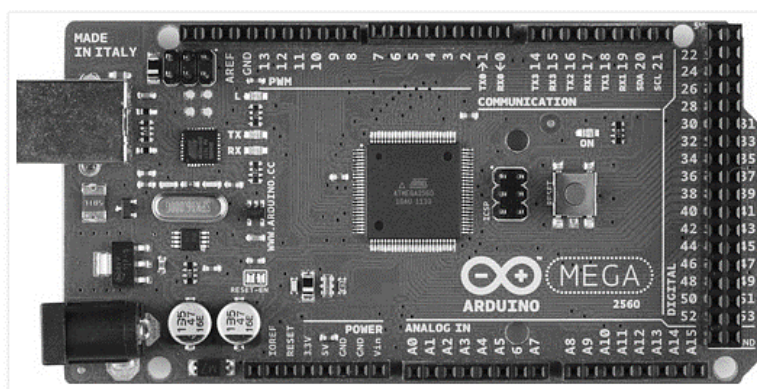


Figura 43. Arduino Mega 2560.

Microcontrolador	ATMega2560
Tensión de trabajo	5V
Tensión de entrada (recomendada)	7-12V
Tensión de entrada (límite)	6-20V
Pines Digitales I/O	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entradas Analógicas	16
DC Corriente por Pin I/O	20 mA
DC Corriente por Pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB de los cuales 8 KB se usan por el bootloader

SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
Largo	101.52 mm
Ancho	53.3 mm
Peso	37 g

Tabla 16. Especificaciones técnicas Arduino Mega 2560.

4.8.3 Memoria

La tarjeta electrónica cuenta con un ATmega 2560 de 256 KB para almacenamiento de códigos los cuales 8 KB se utilizan como cargador de arranque, 8KB de SRAM y 4 KB de EEPROM que pueden ser leídas y escritas con la biblioteca de la misma.

4.8.4 Señales de entrada y salida

Esta tarjeta cuenta con 54 pines digitales que tienen diferentes tipos de funciones, estos pines pueden alimentar o recibir tenciones de 20 mA, la tensión máxima que pueden recibir estos pines es de 40 mA para evitar un daño permanente en la placa electrónica^[30]. A continuación se describirán las funciones que tienen los pines de la tarjeta electrónica Arduino:

Serie: 0 (RX) y 1 (TX); Serie 1: 19 (RX) y 18 (TX); Serie 2: 17 (RX) y 16 (TX); Serie 3: 15 (RX) y 14 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y transmitir datos serie (TX) TTL. Los pines 0 y 1 también están conectados a los pines correspondientes del chip serie ATmega16U2 USB-a-TTL. (Delgado Manuel, 2017).

PWM: Los pines de 0 al 13 nos brindan una modulación por anchos de pulsos de 8 bits de resolución con valores del 0 al 255 con la función de ***analogWrite()***.

SPI: Los pines 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS) nos brindan una comunicación SPI utilizando la biblioteca SPI, estos pines se repiten con el conector ICSP que es compatible con el Arduino.

Led: Este led está incorporado en el pin digital número 13 que nos indicará cuando está habilitado el pin o deshabilitado.

TWI: 20 (SDA) y 21 (SCL) Estos pines tienen la función de brindar una comunicación TWI utilizando la biblioteca **Wire**.

AREF: Este pin nos ayuda para tener una referencia de tensión en las entradas analógicas.

Reset: Este Push-Button nos ayudará en el reinicio de la tarjeta.

4.8.5 Comunicación

La tarjeta Arduino Mega 2560 tiene una gran facilidad de comunicación con la computadora con otra tarjeta arduino o con otros tipos de microcontroladores. El controlador que tiene esta placa nos proporciona cuatro puertos de transmisor y receptor asíncrono universal (UART TLL). Tiene incorporado un chip FTDI FT232RL que entabla la comunicación serie a través de un puerto USB. Contiene un puerto serie que nos ayuda a enviar o recibir información textual. Los pines RX y TX tienen leds para observar que se establezca una comunicación transmitida al chip FTDI a la conexión USB.

Esta tarjeta soporta comunicaciones I2C y SPI junto con sus librerías **SoftwareSerial** y **Wire** para simplificar su uso de ellas.

4.9 Hardware de adquisición de datos (DAQ)

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de muestreo con una computadora los cambios eléctricos o físicos como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable por el usuario. Comparados con los sistemas anteriores, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PCs que nos brinda una solución de medidas. ^[31].

El DAQ nos ayuda también para la automatización de procesos con los convertidores analógicos-digitales (ADC) y digitales-analógicos (DAC), un bus para la comunicación con la computadora que recibe y envía datos se logra observar, manipular el objeto de estudio.

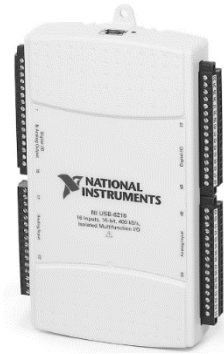


Figura 44. Hardware de adquisición de datos.

4.9.1 Arduino como DAQ

Con las diferentes características que tiene la tarjeta Arduino y el bajo costo lo hace ideal para la adquisición y comunicación de datos a la computadora. El software Arduino nos brinda un código hecho por la compañía que sirve para entablar una comunicación serial logrando así una facilidad de comunicarse con otros dispositivos. El software que nos proporciona la compañía es libre y no requiere alguna licencia.

Capítulo 5. Desarrollo del sistema de control y automatización para invernadero hidropónico N.F.T

En este capítulo se desarrolla el sistema de control y automatización para el invernadero hidropónico N.F.T, también se incluyen los diferentes diagramas de bloque para cada componente que interviene en el sistema, los cuales se encuentra divididos en dos partes:

- Software: Basado en la lógica de programación y la interfaz de usuario desarrollado mediante LabVIEW.
- Hardware: Compuesto por los sensores de temperatura y pH así como también de los actuadores los cuales son: las motobombas, calentador y el ventilador/extractor, además de la tarjeta de adquisición de datos Arduino y la placa de control.

De igual manera, se explicará detalladamente los diagramas de bloque correspondiente a cada variable a controlar, así como la calibración de los sensores y la programación correspondiente necesaria para la comunicación entre el Arduino Mega 2560 y LabVIEW.

5.1 Programación de LabVIEW para establecer comunicación con el DAQ Arduino

¿Qué es la programación?

Se conoce como programación a la implementación de un algoritmo en un determinado lenguaje de programación, conformando un programa. Mientras que un algoritmo se ejecuta en una máquina abstracta que no tiene limitaciones de memoria o tiempo, un programa se ejecuta en una máquina real, que sí tiene esas limitaciones. El lenguaje de programación puede ser de alto, medio o bajo nivel, en función del grado de abstracción.

La programación de ordenadores debe seguir tres pasos:

- Corrección: un programa es correcto si hace lo que debe hacer. Para determinar si un programa hace lo que debe es muy importante especificar claramente qué debe hacer el programa antes del desarrollo.
- Claridad: es muy importante que el programa sea lo más claro y legible posible para mejorar el mantenimiento del software. Cuando se acaba de escribir el código del programa, se deben buscar errores y corregirlos. Más concretamente, cuando el programa está concluido, es necesario hacerle ampliaciones o modificaciones, según

la demanda de los usuarios, esta labor puede ser llevada a cabo por el mismo programador que implemento el programa o por otros.

- Eficiencia: debe consumir la menor cantidad de recursos posibles. Normalmente al hablar de eficiencia se suele hacer referencia al consumo de tiempo y/o memoria.

Aunque existen muchos lenguajes de programación y muchos tipos diferentes de computadoras, el primer paso es la necesidad de tener una solución. Sin un algoritmo no puede haber un programa.

Los algoritmos describen la solución a un problema en términos de los datos requeridos para representar el caso del problema y el conjunto de pasos necesarios para producir el resultado pretendido. Los lenguajes de programación deben suministrar un modo notacional para representar tanto el proceso como los datos. Para este fin, los lenguajes suministran estructuras de control y tipos de datos.

El software de LabVIEW es el encargado de recibir los datos de la tarjeta de adquisición de datos de Arduino, procesarlos mediante la lógica de programación diseñada, establecer una interfaz gráfica en donde el usuario tenga la posibilidad de ver la planta y tomar acciones correctivas. El flujo de la comunicación del sistema se muestra en la Figura 45.

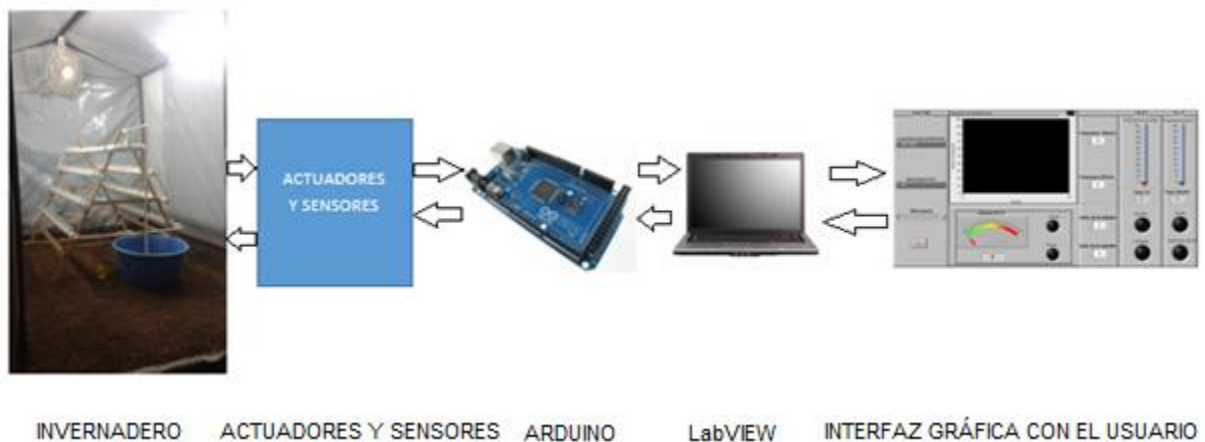


Figura 45. Flujo de la comunicación.

Para establecer la comunicación de LabVIEW con el DAQ Arduino se requiere instalar el programa LIFA_base en la tarjeta Arduino MEGA 2560, este programa nos permitirá encontrar dentro de nuestra paleta de funciones una subpaleta con el nombre de Arduino, tal como se muestra en la Figura 46.

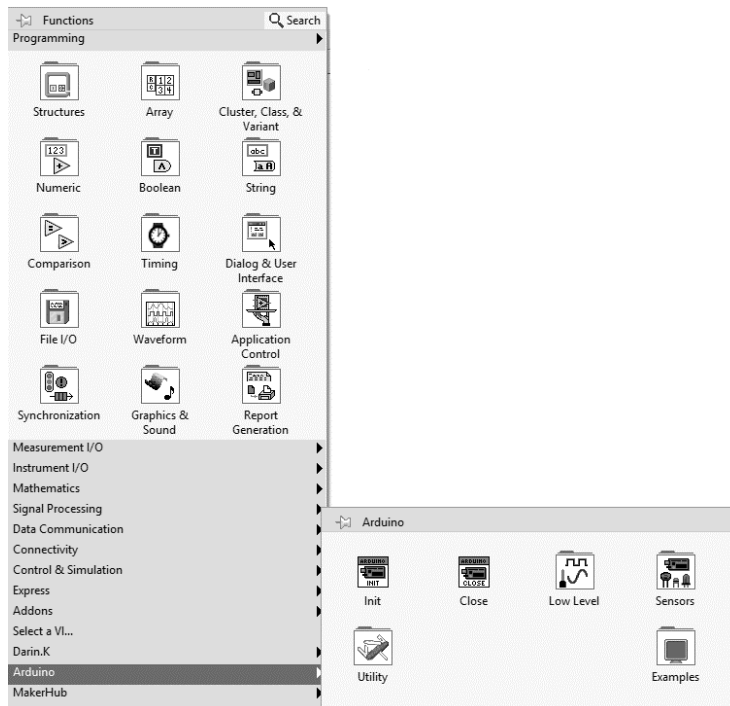


Figura 46. Subpaleta Arduino en LabVIEW.

El primer paso para comenzar la programación en LabVIEW será incluir la función “**Arduino Init**” mostrado en la Figura 47, dentro de esta función se cuenta con los parámetros de comunicación con la tarjeta Arduino como lo son: el tipo de conexión, puerto serial a conectar, tipo de tarjeta a conectar, **Baud Rate**, Bytes por paquete. Con esta función inicializaremos la conexión entre LabVIEW y Arduino.

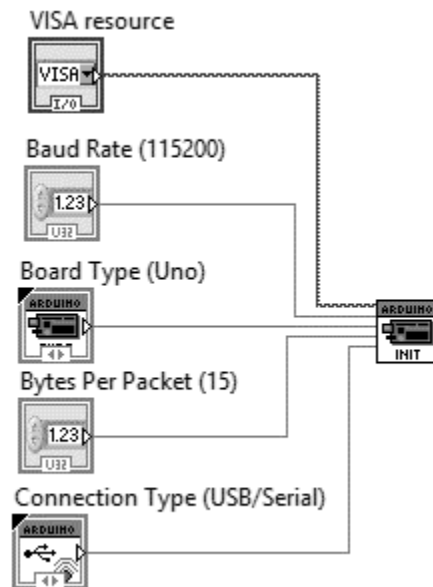


Figura 47. Función **Arduino Init**.

Debido a que los sensores de temperatura LM35 y el sensor con sonda de pH funcionan con señales electrónicas analógicas, es decir, que los valores de la tensión o voltaje varían constantemente y pueden tomar cualquier valor, se procede a establecer los pines requeridos para la configuración dentro del programa. Dichos pines son mostrados en la tabla 17 así como la función a realizar.

PUERTO ANALÓGICO	FUNCIÓN
A0	Sensor de sonda pH. Mide el nivel de pH en la solución nutritiva.
A1	Sensor LM35. Registra la temperatura dentro del invernadero.
A2	Sensor LM35. Registra la temperatura del agua con solución nutritiva.

Tabla 17. Pines a utilizar del Arduino.

Para realizar la lectura de los sensores se requiere de la función **Analog Read Pin** (Figura 48), en esta función se indicará el pin a utilizar correspondiente al sensor requerido, así como el voltaje de salida obtenido de la lectura.



Figura 48. Función **Analog Read Pin**.

De igual manera que en las entradas, se definen también los pines de las salidas, en la tabla 18 se muestran las salidas digitales que habilitaran los actuadores o indicadores.

PUERTO DIGITAL	FUNCIÓN
5	Habilita el actuador de bomba de aire cuando la temperatura de la solución sobrepasa los 22° C.
6	Salida digital especificada para el sistema de ventilación.
7	Activa el calentador cuando la temperatura del invernadero sea baja según la temperatura que se desee.
8	Activa la bomba de agua para el sistema de riego.
9	Indica si el pH se encuentra en nivel alto.
10	Indica si el pH se encuentra en nivel bajo.

Tabla 18. Pines a utilizar del Arduino.

Posteriormente se requiere de la función “**Digital Write Pin**”, mostrado en la Figura 49. Esta función habilitara la salida digital representada por estado alto (HIGH) o bajo (LOW), correspondiente a cada actuador requerido.

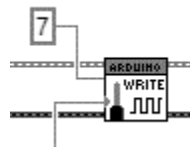


Figura 49. Función **Digital Write Pin**.

5.2 Sistema SCADA

¿Qué es un sistema **SCADA**?

Los sistemas SCADA (**Supervisory Control And Data Acquisition**) son un conjunto de software y hardware que trabajan juntos para comunicar, controlar y supervisar diversos tipos de sistemas o dispositivos con fin de controlarlos de una forma remota los procesos que se llevan a cabo. Este tipo de sistemas utilizan una interfaz con el fin de que los operarios y supervisores tengan un control para realizar algún tipo de cambio si el sistema lo requiere.

5.2.1 Características de un sistema SCADA

Para que un sistema logre ser considerado de este tipo debe cumplir con diferentes tipos de características con las que el sistema trabaja en conjunto y logre una automatización y monitoreo del sistema.

- Adquisición y almacenamiento de datos para recoger, procesar y almacenar la información que se está obteniendo del sistema.
- Representaciones gráficas de las variables con fin de que el usuario monitoree el sistema para su funcionamiento óptimo.
- Ejecución de las acciones de control para modificarlas y tomar acciones si el sistema necesita algún tipo de cambio en sus variables.
- Conectividad con otras aplicaciones y base de datos locales o distribuidas en base a redes de comunicación.
- Arquitectura abierta y flexible con el fin de ampliar o adaptar nuevos sistemas en el mismo.
- Supervisión visual desde un monitor para observar los cambios del sistema.
- Transmisión de información con los dispositivos que están interactuando con el sistema y la comunicación con la computadora.

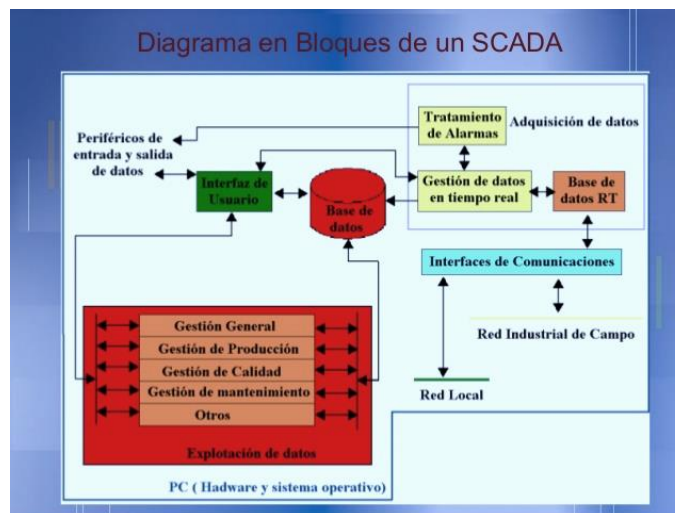


Figura 50. Arquitectura **SCADA**.

A continuación se muestran los diagramas de bloque así como la programación y calibración de los sensores de cada sistema a controlar.

5.3 Programación para el control de temperatura del invernadero

Para llevar a cabo la programación del control de temperatura del invernadero se requiere del sensor de temperatura LM35, el cual fue detallado en el Capítulo 3, dentro de las características mencionadas es que no necesita una calibración especial pues este sensor ya está calibrado desde su fabricación. Dicho sensor nos permitirá monitorear la temperatura que se encuentra dentro del ambiente del invernadero.

Los rangos de temperatura tanto máximo como mínimo serán establecidos por un operario para mantener el clima lo más óptimo posible según la cosecha deseada, esto hará que al tener un incremento de temperatura se active el sistema de ventilación o por el contrario cuando la temperatura se encuentre por debajo del margen establecido se procederá a la activación del sistema de calefacción.

Teniendo en cuenta estas especificaciones se procede a realizar un diagrama de flujo (Figura 51).

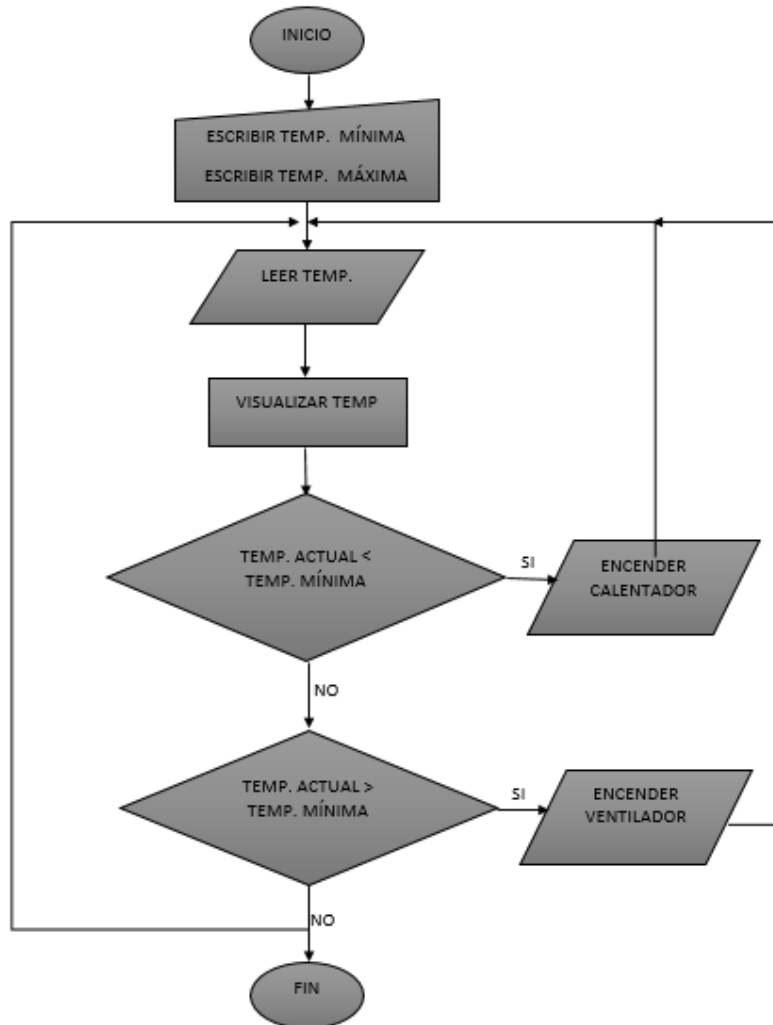


Figura 51. Diagrama de bloques para la temperatura del invernadero.

Realizado el diagrama de bloques para el control de la temperatura del invernadero se procede a diseñar la programación necesaria para dicho control dentro de LabVIEW (Figura 52).

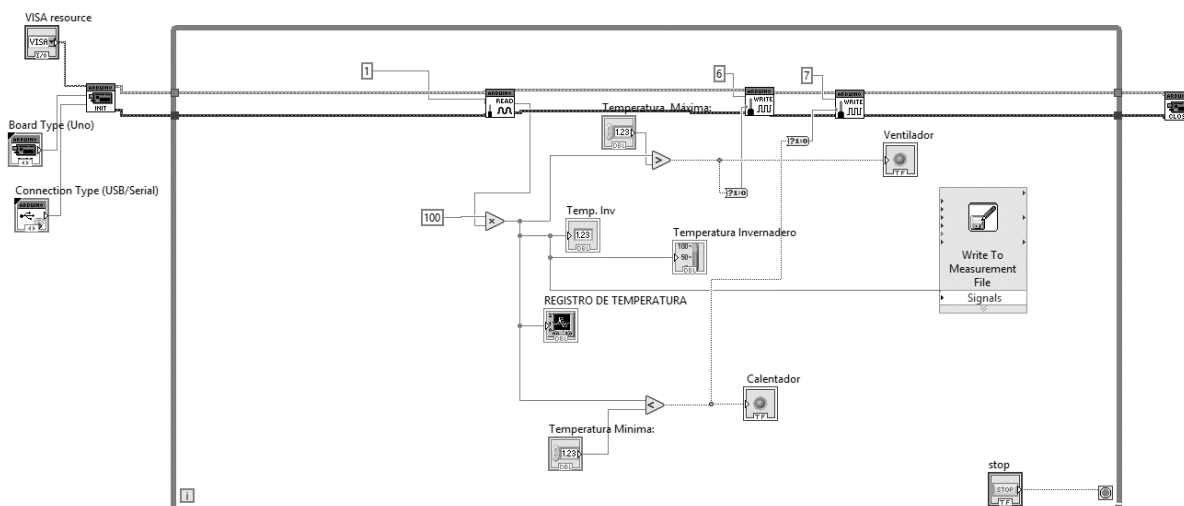


Figura 52. Programación LabVIEW para establecer los rangos de temperatura del invernadero.

El voltaje de salida del sensor de temperatura es conectado al puerto analógico A1 de nuestra tarjeta Arduino, mediante este puerto se leen los valores de voltaje e ingresará a nuestra lógica de programación mediante el uso de la función **Analog Read Pin** vista anteriormente. Para realizar la conversión de voltaje a grados centígrados, multiplicamos el voltaje de entrada en mV por un factor de 100 para convertirlo en °C, este nuevo valor es guardado en un la variable **Temp. Inv** de tipo flotante. La variable **Temp. Inv**, es comparada mediante el uso de comparadores lógicos. Cuando la temperatura está por debajo del valor programado se activa el sistema de calefacción (calentador), cuando está por encima se activa el sistema de ventilación (Ventilador) y cuando está dentro del rango estas variables estarán apagadas.

En la Figura 53 se muestra la interfaz gráfica que cuenta con una pantalla la cual mostrará, mediante una gráfica, el comportamiento de la temperatura así como un termómetro para mayor apoyo visual. También se cuenta con los controles en donde el operario establecerá los rangos sobre los que desee mantener el clima dentro del invernadero y unos indicadores (LED's) que se mantendrán encendidos o apagados dependiendo si el sistema de ventilación o calefacción se encuentra en función o en reposo.



Figura 53. Interfaz gráfica para monitoreo de temperatura del invernadero.

5.4 Programación para el control de temperatura de la solución nutritiva

De igual manera que el caso anterior, se requiere del sensor de temperatura LM35, para poder monitorear la temperatura de la solución nutritiva y en caso de que esta supere los 22°C se procederá a activarse una bomba de aire, la cual permitirá que se tenga oxigenación necesaria para que las plantas puedan captar la mayor cantidad de nutrientes que dicha solución brinda. El diagrama de flujo es mostrado en la Figura 54.

DIAGRAMA DE FLUJO TEMPERATURA SOLUCIÓN NUTRITIVA

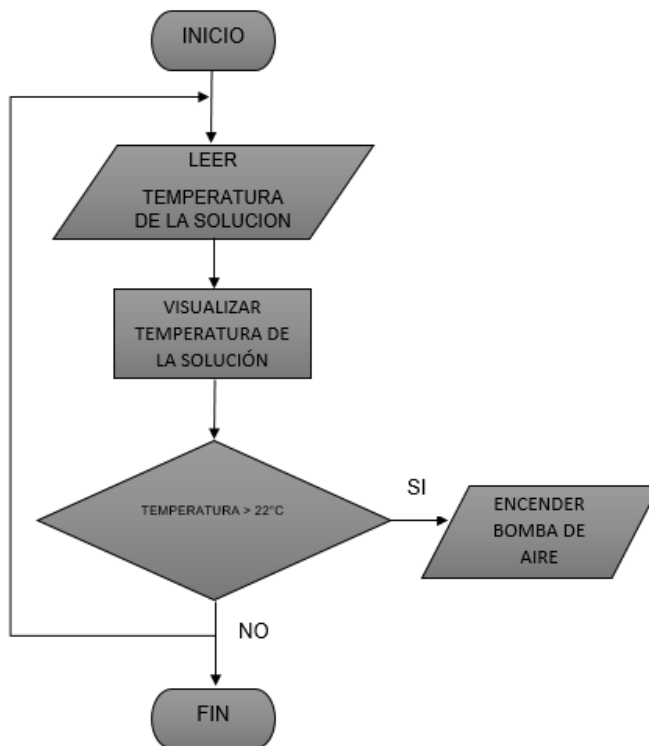


Figura 54. Diagrama de flujo para la temperatura de la solución nutritiva.

Con el apoyo del diagrama de flujo se procede a realizar la programación en LabVIEW (Figura 55) para el sistema de temperatura de la solución nutritiva.

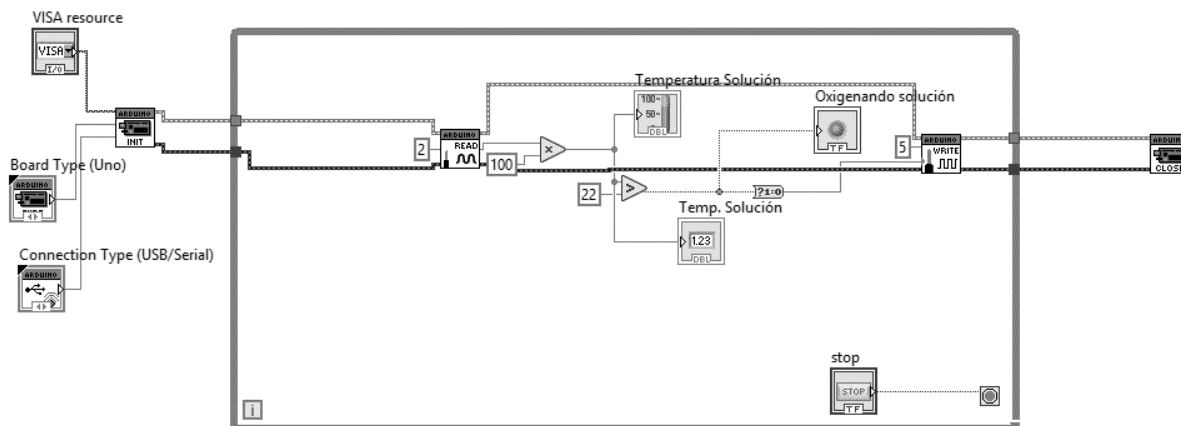


Figura 55. Programación en LabVIEW para controlar la oxigenación en la solución nutritiva.

La señal de salida del sensor LM35 el cual se encuentra conectado por medio de la tarjeta Arduino en la entrada analógica A2, el voltaje de salida el cual como se especifica anteriormente se encuentra en mV, se multiplica por 100, esto es un factor para convertir los mV a grados centígrados, el dato es guardado en la variable **Temp.** Solución de tipo flotante, posteriormente se compara que **Temp.** Solución sea menor a 22°C, si la temperatura de la solución sobrepasa los 22°C se procederá a activar una bomba de aire, la cual nos proporcionará oxigenación y esto garantizará que las plántulas capturen la mayor cantidad de nutrientes para su óptimo crecimiento y desarrollo.

5.5 Programación para el control de pH

En el diseño de este proyecto se utiliza el sensor con sonda para pH, este sensor es de gran utilidad gracias a su diseño y a que tiene una amplia vida útil a pesar de permanecer durante grandes lapsos de tiempo sumergible en la solución. Sus características al igual que los demás sensores fueron especificados en el Capítulo 3, sin embargo, este sensor tiene que ser previamente calibrado para el funcionamiento correcto, es por ello que se detalla el proceso de calibración para el sensor con son sonda pH.

El kit consta de 2 partes: la sonda que estará sumergida en la solución, y el circuito, en este último se encuentran dos potenciómetros. El que está más pegado al conector BNC de la sonda es el que regula el **offset**, el otro es el del límite de pH.

- **Offset:** El rango de media de la sonda oscila entre valores negativos y positivos. El 0 representa un pH de 7.0. Para poder utilizarlo con *Arduino* este circuito añade un valor de offset al valor medido por la sonda, de esta forma el *ADC* solo tendrá que tomar muestras de valores positivos de tensión. Por lo tanto, forzaremos un pH de 7.0 desconectando la sonda del circuito y cortocircuitando la parte interna del conector BNC con la exterior. Con un multímetro medimos el valor del **pin Po** y ajustamos el potenciómetro para que sea 2.5V.
- **Límite de pH:** Este potenciómetro es para establecer un valor del límite del circuito sensor de pH que hace que el *LED* rojo se encienda y la señal de **pin Do** se ponga en *ON*.

Además tenemos que calcular la conversión del voltaje que nos dará el sensor de pH para lo que necesitaremos dos valores de referencia de pH y medir el voltaje que devuelve el sensor en el pin *Po*. Lo más recomendable es utilizar una solución de calibración en sobre, también las hay en líquido pero es más fácil conservar las de sobre. Estas soluciones se venden en diferentes valores aunque los más comunes son pH 4.01, pH 6.86 y pH 9.18.

Utilizando los sobres con pH 4.01 y pH 6.86 obtenemos los voltajes en el pin *Po* 3.04V y 2.54V respectivamente. El sensor es lineal por lo que tomando dos puntos podemos deducir la ecuación para convertir el voltaje medido a pH. La fórmula general de una recta es $y = mx + b$, por lo que tenemos que calcular *m* y *b*. El resultado es $y = -5.70x + 21.34$.

Una vez calibrado el sensor se procede a realizar el diagrama de flujo (Figura 56) en el cual tomaremos en cuenta que el operario ingresará los rangos de pH mínimo y pH máximo que requiere, luego entonces se comparan los valores máximos y mínimos con el valor de pH medido, si se encuentran fuera de los rangos tendremos una señal que nos indicará si el pH es bajo o por el contrario si se encuentra en un nivel alto y así el productor podrá tomar medidas preventivas y/o correctivas si existiese algún problema que ponga en riesgo la cosecha.

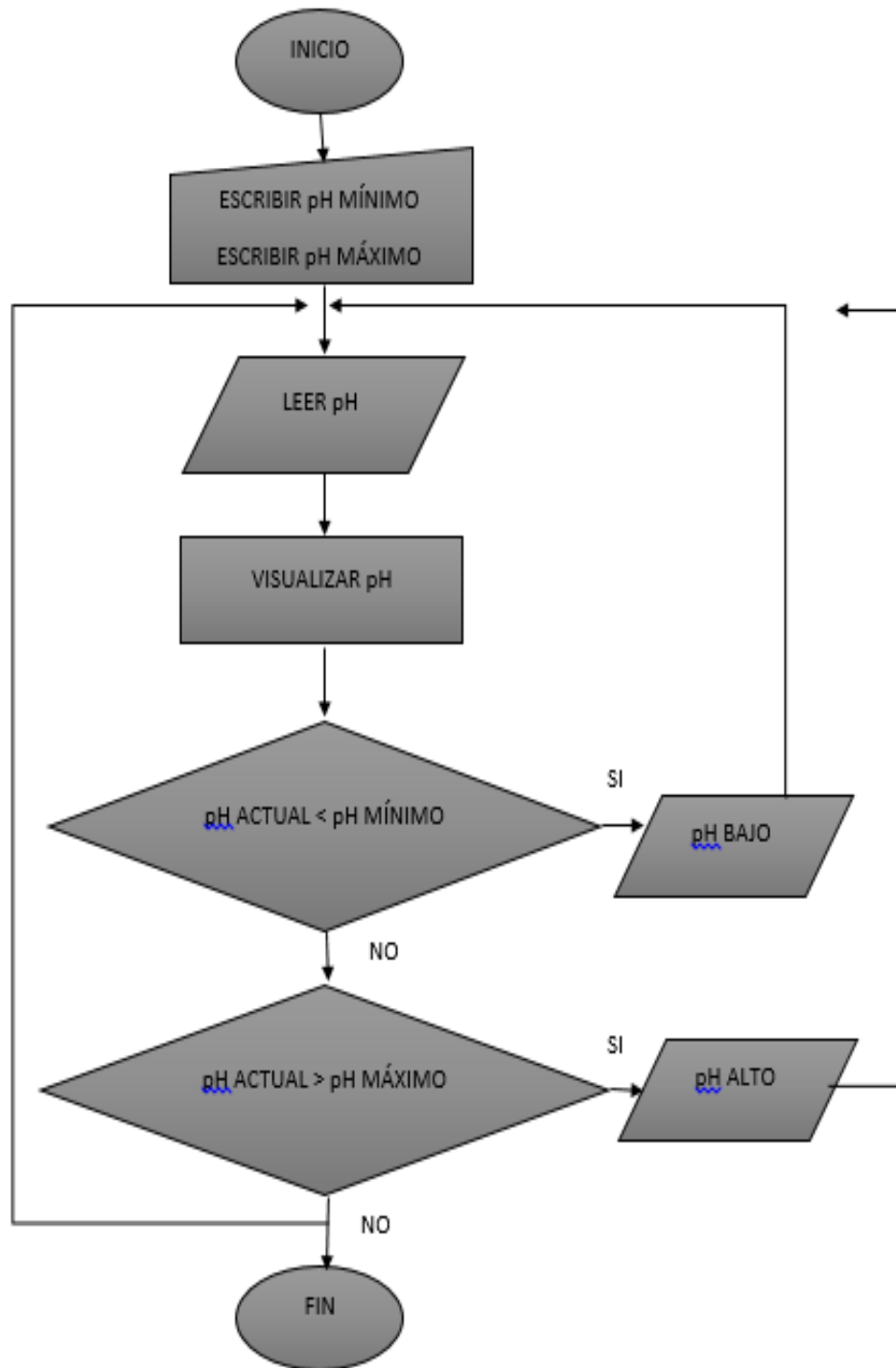


Figura 56. Diagrama de bloques para el pH de la solución nutritiva.

Después de contar con el diagrama de flujo y verificar que los pasos son los necesarios y adecuados para monitorear el pH de la solución nutritiva se realiza la programación en

LabVIEW (Figura 57) para que al igual con los otros sistemas se puedan anexar posteriormente en el programa principal del proyecto.

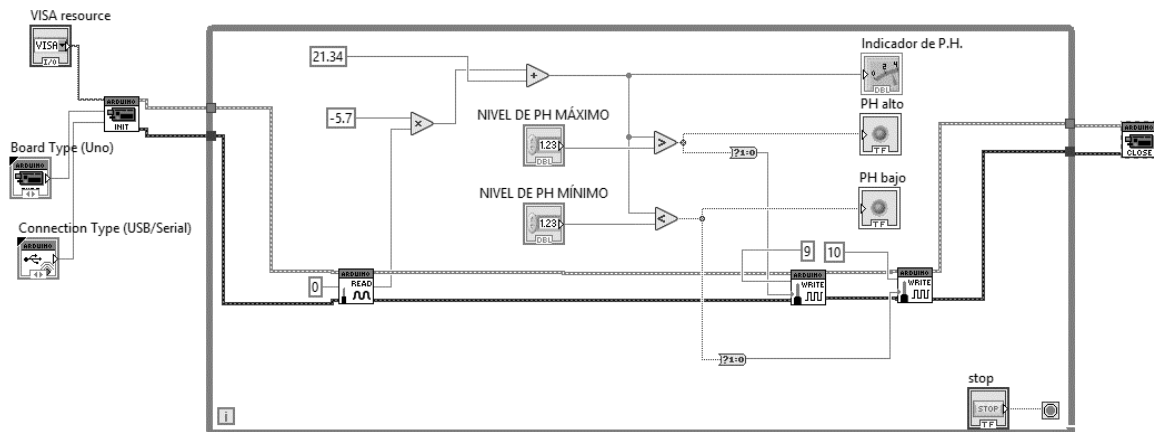


Figura 57. Programación en LabVIEW para el sensor de pH.

Por medio de la interfaz, el usuario ingresará los valores de los rangos en los que desee se mantenga el pH de la solución nutritiva. Esto dependerá del tipo de cosecha que desee obtener; estos valores se guardarán en las variables de tipo flotante llamados Nivel de pH mínimo y nivel de pH máximo.

La entrada de la señal del sensor es conectada en el pin analógico del Arduino A0 y como se ha visto en la calibración, el sensor se comporta de manera lineal y al obtener la ecuación que gobierna el comportamiento del sensor, la cual es una ecuación de la recta, se obtiene el valor de m y b. Estos valores se ingresan en la función de multiplicación y adición respectivamente, se configuran de manera que son valores constantes, posteriormente el valor registrado por medio de la sonda al pasar por dicha ecuación hará una comparativa con los rangos que el usuario ha ingresado. Si los rangos se encuentran por debajo del nivel de pH mínimo se mandará una señal que indicará que la solución nutritiva cuenta con un pH bajo, por el contrario si el nivel de pH medido supera el nivel máximo que el operario le ha indicado se procederá a activar el led que indica que el nivel de pH es alto.

En el caso de que los niveles de pH que sean medidos a través de la sonda se encuentren en los rangos requeridos simplemente los indicadores de pH bajo y pH alto se mantendrán inactivos, es decir, que los leds permanecerán apagados totalmente.

En la Figura 58 se muestra la interfaz en la cual se observa de manera clara el funcionamiento de la programación para el sensor de nivel de pH de la solución nutritiva.



Figura 58. Interfaz gráfica del indicador de niveles de pH de la solución nutritiva.

5.6 Programación para el recirculación de la solución nutritiva.

El último detalle pero no menos importante a programar es la recirculación de la solución nutritiva. Este sistema aunque relativamente sencillo es extremadamente esencial para el sistema hidropónico N.F.T, pues es el encargado de bombear la solución nutritiva por medio de los canales de transmisión.

Al igual que los casos anteriores, se muestra el diagrama de flujo (Figura 59) que permitirá entender y realizar la programación necesaria para el sistema.

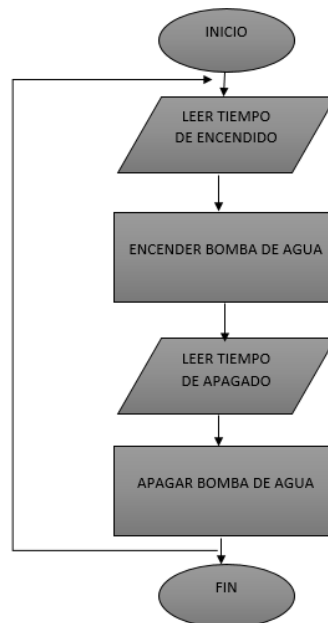


Figura 59. Diagrama de flujo de la bomba de agua.

En este sistema únicamente se configuran los tiempos de reloj en los que la bomba se mantendrá encendida o apagada, esto con el fin de no provocar grandes encharcamientos ni excesivas cantidades del líquido que resulte perjudicial a la cosecha.

Como ya se comentó en el Capítulo 3 los tiempos recomendados para sistemas hidropónicos son de 20 minutos de riego por 20 minutos de interrupción. Contando con los datos necesarios se procede a realizar la programación para el sistema de riego que activará una bomba de agua sumergible. Dicha programación se aprecia en la Figura 60.

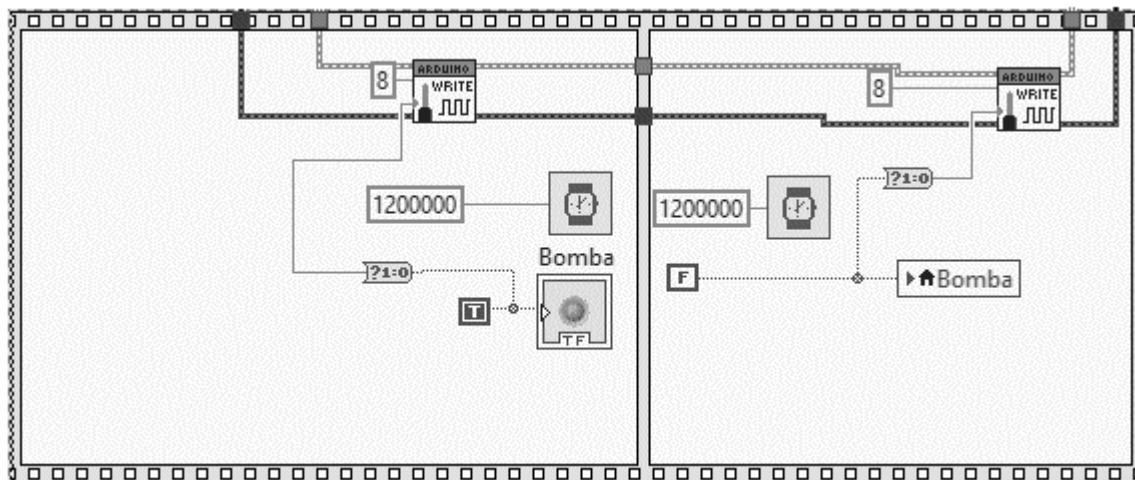


Figura 60. Programación en LabVIEW para el sistema de riego.

Para el diseño de la programación del sistema de riego se requiere de una estructura de secuencia plana (*Flat Sequence Structure*) debido a que al contar con la misma entrada en la tarjeta Arduino (pin 8) se requiere que se ejecute una acción para seguir a la siguiente. Es decir que la bomba se activará durante 20 minutos después de transcurrir el tiempo efectivo se desactiva la bomba durante otros 20 minutos, esto será de manera cíclica por tiempo indefinido.

Ya contando con todos los diagramas de flujo y con las programaciones correspondientes se procede a diseñar un solo y único programa que permitirá el funcionamiento del sistema de invernadero hidropónico.

En la Figura 61 se muestra la programación completa desarrollada en LabVIEW de la automatización y control del invernadero hidropónico con sistema piramidal N.F.T.

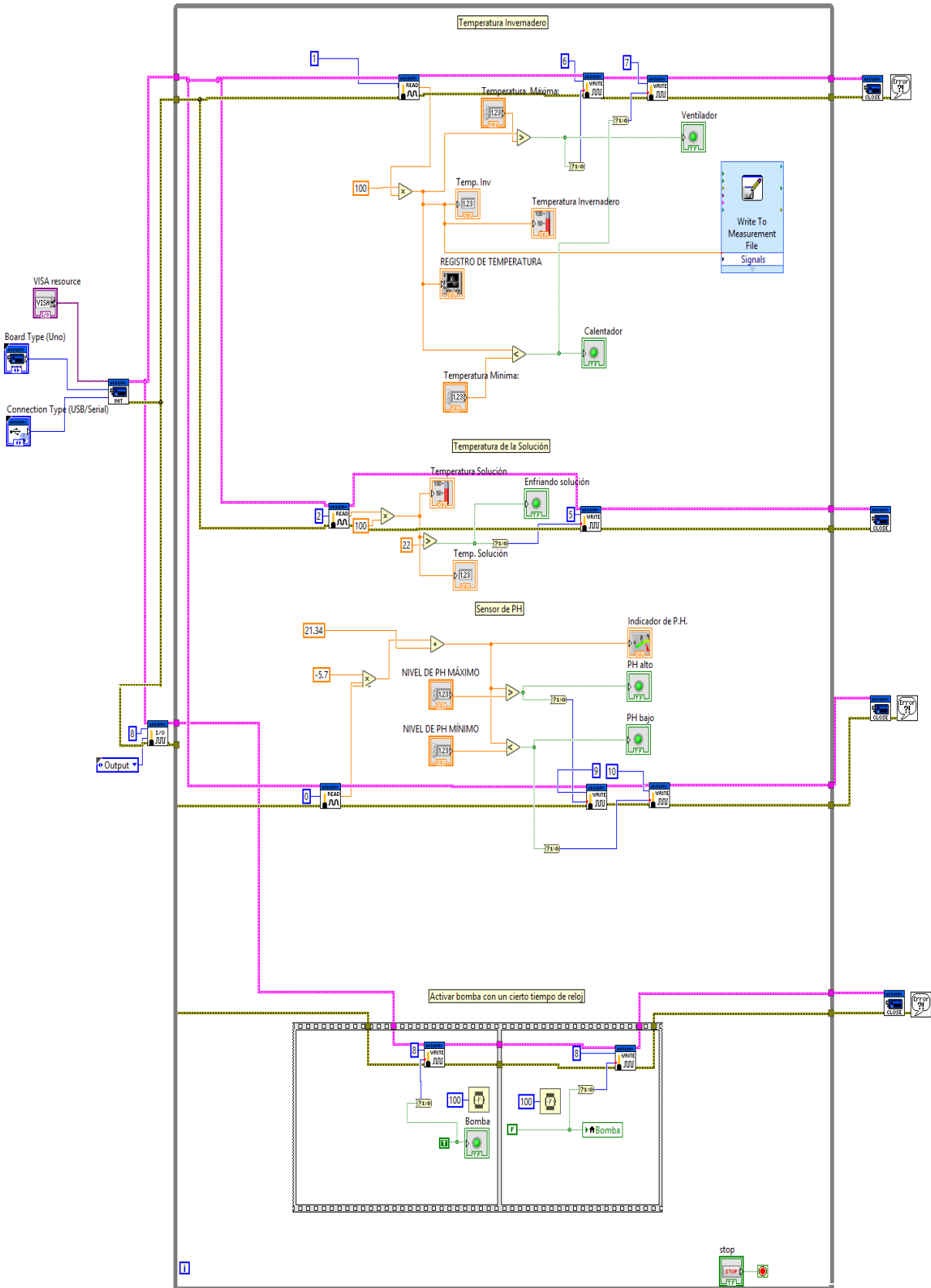


Figura 61. Programación en LabVIEW de la automatización y control del invernadero.

Por otra parte la interfaz gráfica del usuario es mostrada en la Figura 62.

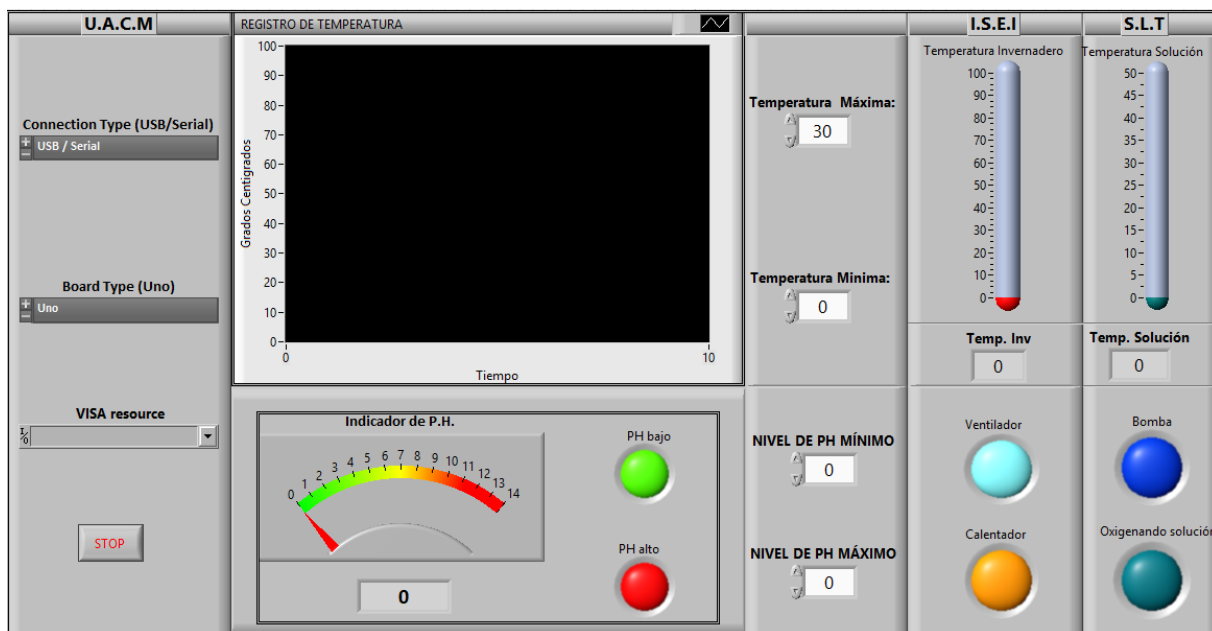


Figura 62. Interfaz gráfica del programa final.

Capítulo 6. Diseño y construcción del invernadero y sistema hidropónico

En el desarrollo de este trabajo se optó por diseñar un invernadero tipo capilla a dos aguas (Figura 63). Debido a su baja complejidad de construcción y por ende su fácil instalación, al igual que el de los invernaderos más comunes.



Figura 63. Invernadero tipo capilla a dos aguas.

Por otra parte uno de los factores más importantes a controlar es el climático, y el diseño de este tipo de invernaderos permite visualizar si se logran cumplir los objetivos planteados.

6.1 Estructura del invernadero

La estructura del invernadero se encuentra hecha de perfiles metálicos cuadrados de $\frac{1}{2}$ " con unas dimensiones de 3 mts de largo, 2 mts de ancho y 2.5 mts de altura (Figura 64). Dentro de esta estructura se instalará el sistema hidropónico piramidal N.F.T, dicha estructura es cubierta por un plástico calibre 720 color blanco, este plástico permite retener cierto grado de sombra y calor, que debido a sus características es ideal para invernaderos de este tipo.



Figura 64. Invernadero final.

Dentro del invernadero se coloca el ventilador en la parte superior en la parte trasera del invernadero, esto nos permitirá expulsar el aire caliente hacia el exterior, por donde se encuentra la puerta de acceso al invernadero.



Figura 65. Sistema hidropónico dentro del invernadero.

Al realizar mediciones de temperatura y percatarnos que el calor dentro del invernadero es superior al exterior y debido a que eso afectaría notablemente la cosecha, se elaboraron unos extractores de aire y colocarlos en el invernadero, esto con la finalidad de expulsar el aire caliente que se encuentre dentro del invernadero y así mejorar las condiciones de clima dentro del mismo.



Figura 66. Lectura de temperatura dentro del invernadero.

Estos extractores se colocan en la parte superior y frontal del invernadero, teniendo así que el aire que arroje el ventilador aparte de proveer de oxigenación ayudará a mover el aire caliente hacia afuera y con ayuda de los extractores este aire será expulsado y así contar con un ambiente climático agradable para la cosecha deseada.



Figura 67. Sistema de extracción de aire.

Teniendo el sistema de ventilación/extracción del aire montado sobre el invernadero, se procede a realizar una nueva medición de temperatura para verificar la temperatura, teniendo como resultado una considerable disminución de temperatura dentro del invernadero.



Figura 68. Lectura de temperatura fuera del invernadero.

6.2 Estructura para el sistema piramidal N.F.T

Para la estructura del sistema piramidal N.F.T se comienza por realizar una base triangular en la cual serán montados posteriormente tubos de PVC de 2", para dicha base se emplean tiras de madera. Se cortan 4 tramos de 120 cm de largo los unimos de tal modo que formen dos triángulos y nos dé una altura de 110 cm.



Figura 69. Construcción del invernadero.

Posteriormente se unen los dos triángulos quedando así la base sobre la cual serán montados los tubos de PVC.



Figura 70. Estructura para el sistema hidropónico.

Contando ya con la base se procede a cortar 8 tubos de PVC de 2" de 1.5 mts de largo.



Figura 71. Tubos del sistema hidropónico.

Contando ya con los tubos de PVC cortados a la medida deseada el siguiente paso es realizar perforaciones de 3.5 cm de diámetro a una distancia de 7 cm entre sí, esto nos dará un total

de 14 cavidades por cada canal, teniendo un total de 114 espacios para colocar las plántulas a cosechar en los 8 tubos.



Figuras 72. Perforación de los tubos.

Ya realizados las perforaciones en los tubos de PVC se procede a montarlos en la base de madera, teniendo así 4 niveles en cada lado, separados a una distancia de 20 cm entre sí.



Figura 73. Montaje de los tubos en la estructura.

Teniendo ya la base y el sistema piramidal N.F.T armado se procede a colocarlo dentro del invernadero.



Figura 74. Sistema hidropónico final.

6.3 Materiales y costo para el invernadero

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO
Plástico para invernadero calibre 720	6 mts	\$ 540.00
Tubo PVC 2"	15 mts	\$ 500.00
codo PVC 90°	16 pzas	\$ 80.00
conexión "T" de 2"	2 pzas	\$ 16.00
estructura metálica		\$ 2,500.00
Madera		\$ 200.00
Total		\$ 3,836.00

Capítulo 7. Diseño del hardware para la automatización y monitoreo del invernadero hidropónico N.F.T

7.1 Circuitos eléctricos-electrónicos

En este apartado se especifica el diseño de los circuitos eléctricos y electrónicos para la implementación y el diseño de las variables, así como también la construcción final de la placa de control.

7.2 Etapa de Potencia

Con los conocimientos adquiridos durante la licenciatura, se realizaron diversos circuitos que activen algún equipo eléctrico de corriente alterna, estos se utilizarán dentro del invernadero por medio de un de pc-Arduino.

Los siguientes circuitos que se utilizaron estarán compuestos con dispositivos que se describirán más adelante. Estos circuitos serán seleccionados por las características que tienen cada uno por ejemplo, el suministro de voltaje, corriente, o aislantes, etcétera.

Para elegir estos dispositivos, se tuvieron que hacer una serie de cálculos que nos permitirán el funcionamiento adecuado del sistema, sin que se vea afectado.

Los siguientes cálculos se tuvieron que tomar en cuenta, esto sirve para conocer los dispositivos que se van a utilizar, con el fin de que soporten el equipo eléctrico con el que se estará utilizando.

N= Número de aparatos eléctricos.
W=Potencia del aparato eléctrico.
V=Voltaje de la red.
I'= Corriente máxima que soporta el Triac.
I=Corriente consumida por el aparato eléctrico.
N=1
W=200W
V=127V
I'=8 ^a
$I = \frac{W}{V} = \frac{200W}{127V} = 1.5^a$
$N = \frac{I'}{I} = \frac{8A}{1.5A} = 5.3$ aparatos que se pueden conectar.

Tabla 19. Cálculo para el consumo eléctrico en el Triac.

Teniendo estos datos pasaremos a elegir el tipo de dispositivos para que tengan las características necesarias para un funcionamiento más óptimo para nuestro sistema.

7.3 MOC3041

Este tipo de optoacopladores funcionan como aislante de sistemas de control de bajo consumo de corriente y voltaje que no sean superiores a 240-Vac. Son importantes, ya que aíslan el sistema si hay alguna falla dentro del sistema de potencia, el punto donde se encuentra el microcontrolador no se vea afectado ^[32].

El MOC3041 (Figura 75), tiene detección de cruce por cero esto quiere decir que permite ajustes del nivel de la potencia en la corriente eléctrica. Estos dispositivos están enfocados a sistemas de corriente eléctrica como ejemplo controles industriales, motores entre otros muchos aparatos eléctricos.

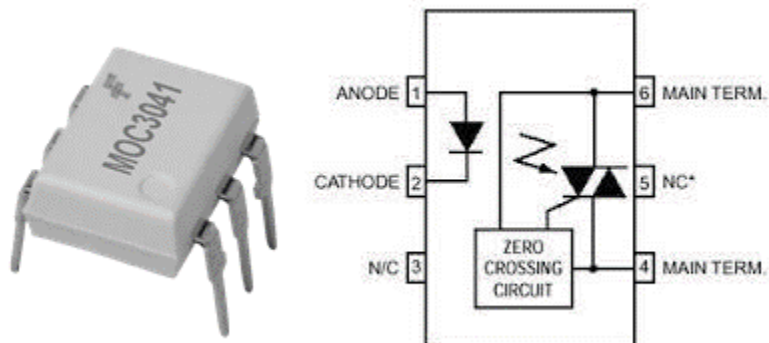


Figura 75. MOC3041.

Especificaciones

Tipo: Optoacoplador

Tipo de salida: Phototriac

Número de canales: 1

Modo de funcionamiento: Paso por cero

Voltaje de aislamiento: 7.5 kV

Tensión máxima de apagado repetitiva, V_{drm} : 400 V

Corriente continua: 50 mA

Voltaje inverso: 6 V

Temperatura de operación mínima: -40°C
Temperatura de operación máxima: 100°C
Encapsulado: DIP
Número de pines: 6

7.4 Triac BTA08.

El triac BTA08 (Figura 76) es un dispositivo bidireccional capaz de conmutar la corriente alterna, esto quiere decir que puede cambiar periódicamente la dirección de la corriente eléctrica ^[34].

Es muy recomendado en el uso en cargas inductivas debido a su alto rendimiento de conmutación, también están diseñados para interactuar directamente con controladores de baja potencia, en este caso un microcontrolador.

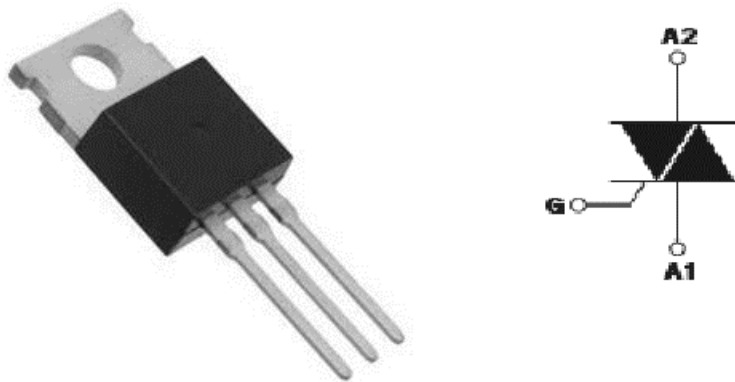


Figura 76. Triac BTA08.

Especificaciones

- Tensión máxima de apagado repetitiva, V_{drm} : 600 V
- Corriente RMS de encendido $I_{\text{T(rms)}}$: 8 A
- Corriente de trigger de la compuerta máxima., I_{gt} : 25 mA
- Corriente de trigger de la compuerta máxima. V_{gt} : 1.3 V
- Potencia de pico de la puerta: 1 W
- Corriente máxima transitoria, No Repet., I_{tsm} 50Hz: 80 A
- Corriente máxima de retención I_{h} : 25 mA
- Temperatura de trabajo máxima: 125°C
- Encapsulado: TO-220
- 3 pines

Teniendo el diseño del circuito pasamos a probarlo por medio del simulador Proteus (Figura 77), para verificar que el circuito se accionará en respuesta del pulso que le enviará la tarjeta.

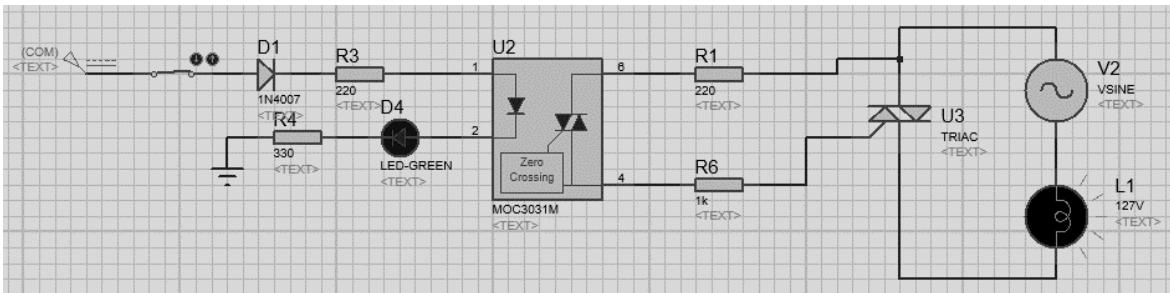


Figura 77. Diseño de circuito en Proteus.

7.5 Optoacoplador 4N35.

El optoacoplador 4N35 (Figura 78), es también conocido como optotransistor, al igual que el MOC3041 pertenece a la familia de optoacopladores, con la diferencia que contiene una configuración *Darlington Optotransistor*, útil para proteger circuitos de altos voltajes [35].

Con este tipo de optoacopladores se puede realizar, detección de alguna red de corriente alterna, interruptor de retroalimentación como fuente de alimentación, aislamiento de tierra lógica y rechazo de ruido a alta frecuencia etcétera. [36].

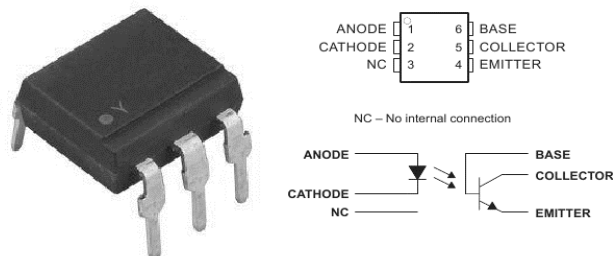


Figura 78. Optoacoplador 4N35.

Especificaciones

- Tipo salida optoacoplador: Phototransistor
- Número de canales: 1
- Tensión de aislamiento: 5.3 kV
- Corriente directa máxima I_F : 50 mA
- Voltaje de colector emisor $V_{(br) ceo}$: 80 V

- Encapsulado: DIP
- Número de pines: 6

7.6 Relevador 5V.

El relevador es un interruptor en el cual se puede abrir o cerrar al paso de la corriente eléctrica, se logra accionar este dispositivo por medio de un electroimán y una bobina es inducida ya sea para abrir o cerrar el circuito.

Los relevadores tiene varios canales, el relevador que se utilizó para este proyecto tiene 5 canales, los cuales 2 son, normalmente abierto, normalmente cerrado, entrada de 5V, otra entrada que va tierra y el último canal se conecta a la entrada de la corriente alterna.

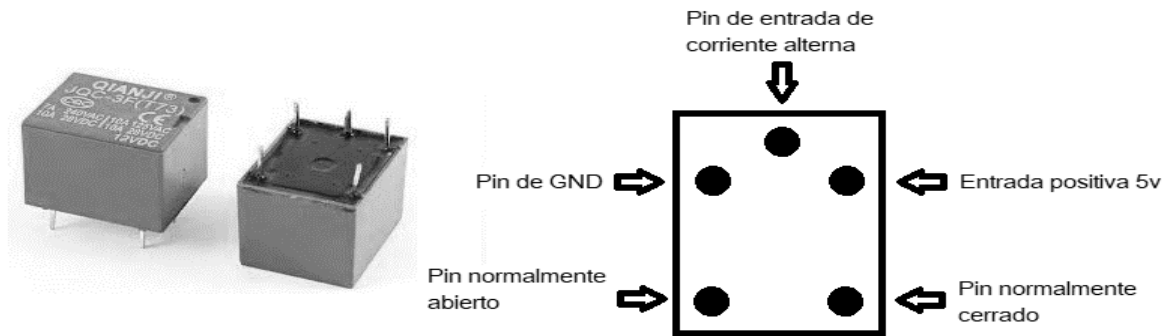


Figura 79. Relevador.

Se verifica el funcionamiento del circuito, en el simulador de circuitos (Proteus) para comprobar que el circuito se accione en respuesta a un pulso que se le ingresará.

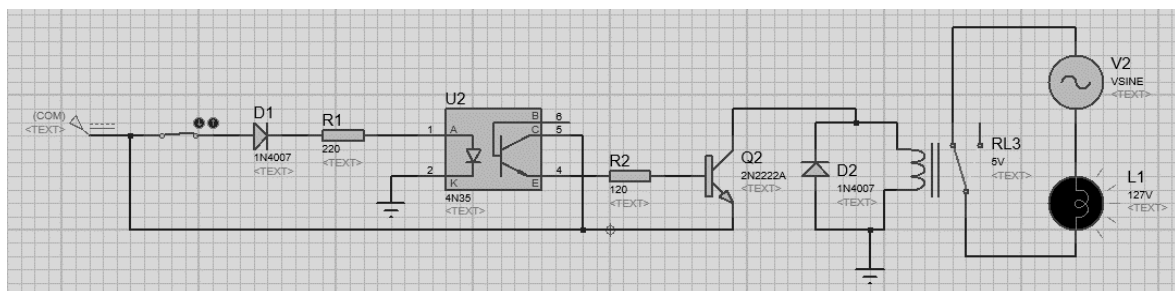


Figura 80. Diseño de circuito en Proteus.

Una vez realizada la simulación de cada componente por separado, se procede a conectar todos los componentes en un solo programa de simulación. Esta prueba se realiza para observar la polarización de todos los dispositivos conectados entre sí.

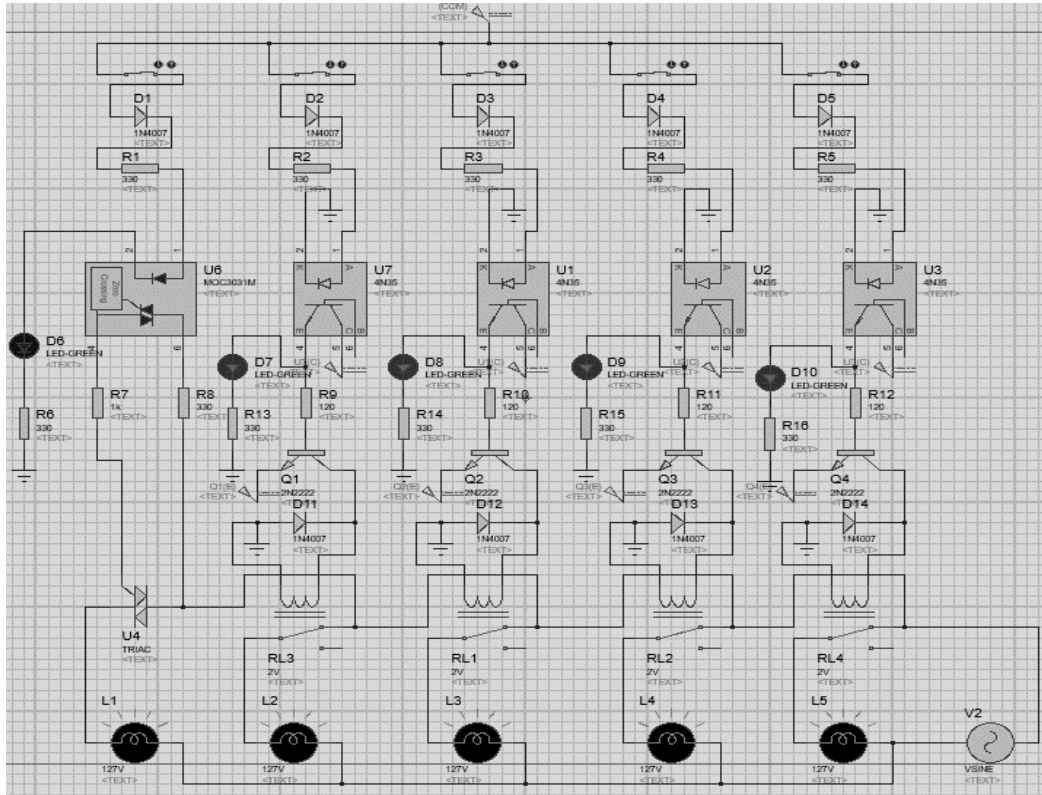


Figura 81. Diseño de circuito en Proteus.

7.7 Diseño de Circuitos de Control.

Se realizó el diseño y construcción de un circuito para el control de corriente AC, con la finalidad de manipular la ventilación del sistema, junto con una bomba de agua o un calentador.

Con ayuda de los sensores que están vigilando los distintos cambios que pueden haber durante el día, nos ayudan a tener un mejor control del espacio que se monitorea, por ejemplo, en horas de la madrugada cuando la temperatura es más baja se accionará un calentador que brindará de un incremento de temperatura que se estableció desde el programa principal, la computadora le dará la orden al microcontrolador Arduino y este a su vez manda un pulso PWM a la tarjeta de control, ésta accionará un calentador o, en caso contrario cuando la temperatura es muy alta en horas de la tarde accionará un ventilador que bajará los niveles de temperatura. Otra función distinta es a una bomba de agua que durante ciertos tiempos repetitivos, la computadora le da la orden a la tarjeta que en el caso anterior mandará un pulso PWM y se accionará la bomba.

Para esta prueba se realizó un control PID para el propósito de este proyecto. Al momento de realizar las pruebas observamos que la variación de temperatura era constante a lo que provocaba que se accionarán en lapsos de tiempo muy cortos los actuadores, lo cual estos equipos posteriormente tuvieron con ello en algún tipo de falla. Una vez visto este problema se optó por utilizar otro tipo de control que cumpliera el objetivo de este proyecto.

Control PID: Es un mecanismo de control que sirve a través de un lazo cerrado regular diversas variables ya sea para un propósito en específico o general.

La placa (Figura 82) fue la que se utilizó para poder probar el control PID.



Figura 82. Placa del circuito con Triac y relevador.

7.8 Módulo Wireless HC-12 de larga distancia.

El módulo HC-12, permite la transmisión bidireccional de señales de control a distancia, lo cual será necesario para monitorear las condiciones de operación dentro del invernadero sin tener una computadora in situ. Debido a que la humedad puede causar daños a los equipos de cómputo utilizados en condiciones ambientales no deseadas de humedad y temperatura.

Con el modulo HC-12 se logra una comunicación inalámbrica que cuenta con multiples canales con los que podemos monitorear diversas señales, con un rango de 433.4-473.0 Mhz, el módulo HC-12 es posible una trasmisión a distancia hasta de 1 Km incluso con obstáculos. La potencia máxima en la que puede transmitir este módulo es de 100mW. En modo de recepción, y en el caso de transmisión, tiene capacidad de hacerlo a 500 bps (baudios), con estas especificaciones se logra alcanzar la distancia antes mencionada. Las configuraciones de comunicación ya vienen establecidas por defecto, por lo cual el usuario ya no tiene la necesidad de modificarlas a modo de que quiera alcanzar un rango mayor de distancia ^[36].

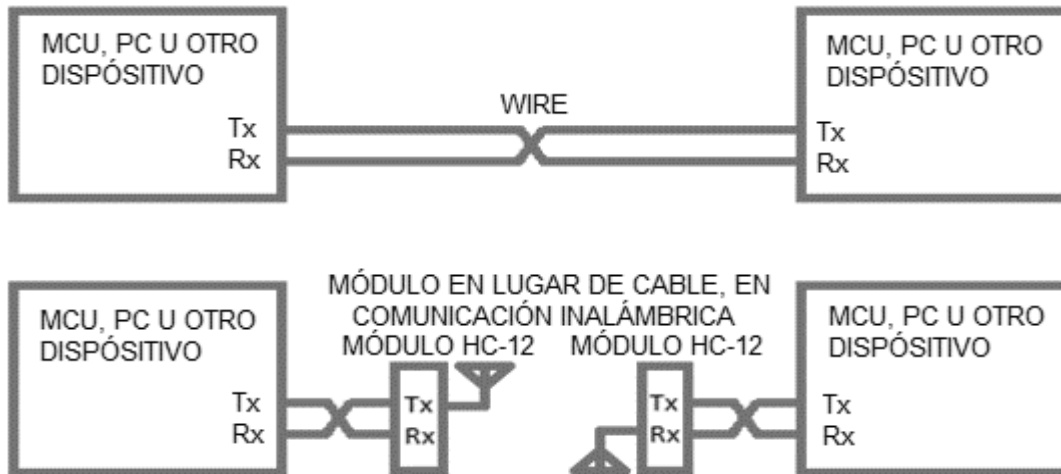


Figura 83. Cuadro de transmision de datos del HC-12.

Otras de las características del HC-12 que lo hacen especial para la aplicación de este trabajo de tesis, es la de utilizar un transceptor Si4463 para establecer la comunicación inalámbrica que por defecto tiene una potencia de 100mW con dos memorias, una para Rx y otra para Tx de 64 bytes.

Este módulo cuenta con un microcontrolador STM8S003FS de 8 bits con 8 KB de memoria flash de tipo EEPROM y un ADC de 10 bits. Este tipo de microcontroladores cuentan con una variedad de capacidades similares a la familia de procesadores ATmega y XMC pero por diseños de fábrica este controlador sólo está diseñado para controlar el transceptor Si4463 con comunicación tipo UART. Esto quiere decir que puede manejar una comunicación entre el HC-12 y otro dispositivo conectado con él.

En conjunto el transceptor (Si4463) y el microcontrolador (STM8S003FS) hacen que el módulo de conexión inalámbrica tenga una interfaz UART con un nivel de TTL de 5 pines definidos para polarización (Vcc), tierra (Gnd), transmisor (Tx) y receptor (Rx), el último pin se utiliza para modificar la comunicación inalámbrica por defecto.

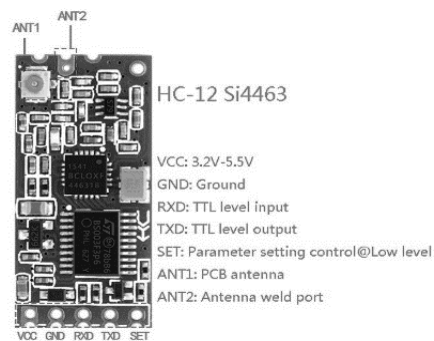


Figura 84. Módulo HC-12.

En HC-12 se utilizan la comunicación inalámbrica por defecto (FU3) para crear un puente inalámbrico entre los puertos serie de la tarjeta Arduino y la computadora. Los transceptores deben estar separados por al menos 1.5 metros para funcionar.

FU1	Se utiliza en modo de ahorro moderado, tiene una tasa de transmisión de baudios de 2500000 bps y se puede establecer en cualquier velocidad de baudios (bps) que quiera ser establecido.
FU2	Ahorra aún más energía que la opción anterior, pero la velocidad del puerto se limita a 1200 bps, 2400 bps, 4800 bps.
FU3	La configuración establecida de fábrica de uso general varía la velocidad por el tipo de puerto serie que se utilice, aplica para diversos tipos de rangos.
FU4	Esta opción es de largo alcance pero su velocidad de transmisión se limita a 500 bps y su puerto serie se establece en 1200 bps. Esto se debe a que la velocidad del aire es menor que la del puerto serie, se puede enviar hasta 60 bytes como máximo cada 2 segundos. Con esta opción se logra alcanzar hasta 1800 m.

Tabla 20. Opciones del HC-12.

1200 bps	1000 m
2400 bps	1000 m
4800 bps	500 m
9600 bps	500 m
19200 bps	250 m
38400 bps	250 m
57600 bps	100 m
1152000 bps	100 m

Tabla 21. Rango de distancia del bps.

La conexión del HC-12 con el Arduino debe ser Tx con Rx del módulo y viceversa, esto para poder entablar la conexión inalámbrica y lograr enviar/recibir datos que se estarán registrando.

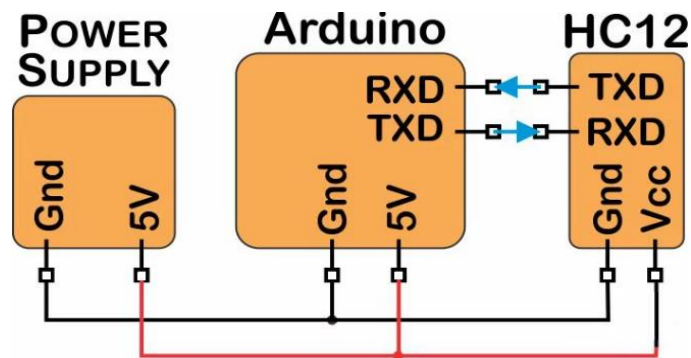


Figura 85. Conexión arduino con el HC-12.

Para esto también se necesita un nuevo módulo que se usará para conectar el HC-12 con la computadora. Los pines del módulo inalámbrico HC-12 no se pueden conectar de alguna forma con la computadora; para esto se necesita el módulo CP2102 USB a UART para entablar la comunicación a distancia. La única desventaja de este módulo es que no se puede conectar directamente al módulo inalámbrico.



Figura 86. Módulo CP2102.

Para lograr conectar este nuevo módulo (CP2102) con la computadora se necesitó de hacer un diseño de una pequeña placa para lograr que el módulo (CP2102) con el módulo HC-12 estén conectados a la computadora.

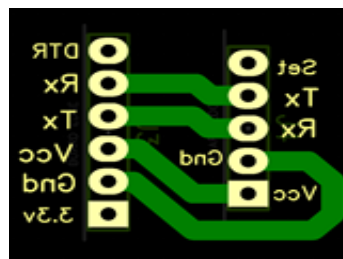


Figura 87. Puente CP2102 con el HC-12.

Este diseño pasará a una placa para poder conectar los dos módulos entre sí. Una vez lista, ésta se podrá conectar directamente a la computadora para lograr visualizar los datos que nos

manden los sensores y de qué actuadores están encendidos o apagados con el fin de saber cómo el comportamiento nuestro sistema.

Este puente sirve de gran ayuda ya que al conectar el HC-12 con el módulo (CP2102) las señales que nos llegan no tienen mucho ruido. Al conectarse directamente estos dos módulos con cables tienen mucho ruido lo que afecta las señales que necesitamos.

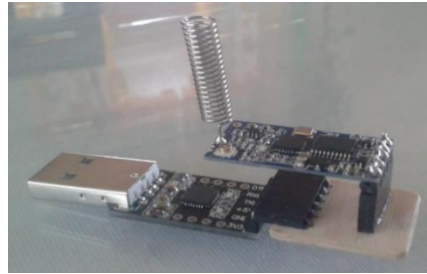


Figura 88. Conexión CP2102 al HC-12.

Con la finalidad de concentrar todas las señales de control y accionamiento en una sola placa, se ha llevado a cabo el diseño de una placa prototipo. Como se muestra en la siguiente imagen, en la placa diseñada se ha aprovechado para utilizar solo una fuente de voltaje para polarización y accionamiento de actuadores y sensores.

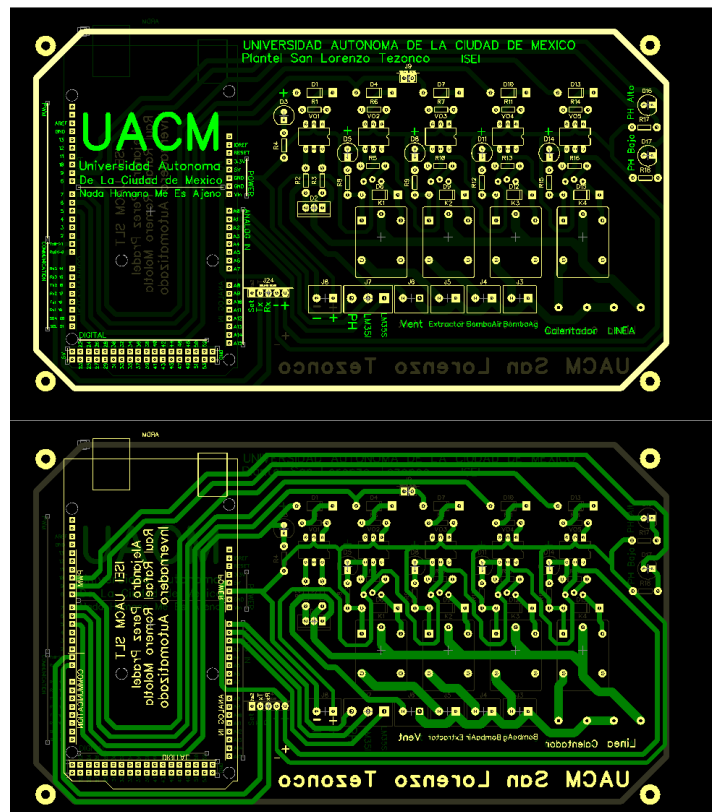


Figura 89. Diseño de placa en el software.

Una vez realizado el diseño de la placa se puede visualizar en 3D la apariencia con la que contará la placa de control ya con los dispositivos instalados de manera correcta (Figura 90).

En este último diseño que se realizó, se involucran todos los actuadores que se utilizarán y algunos otros que podrían utilizarse a futuro, no obstante esta placa está diseñada para que se puedan agregar entradas/salidas para accionar una mayor cantidad de actuadores a futuro.

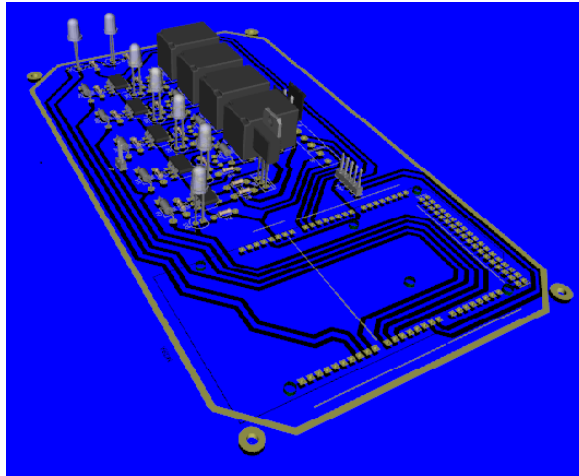


Figura 90. Placa final visualizada en 3D.

Una vez realizadas las simulaciones y pruebas necesarias se procede a realizar de manera física la placa de control que permitirá el funcionamiento de nuestro sistema y así verificar los eventos que sucederán en el proyecto planteado.

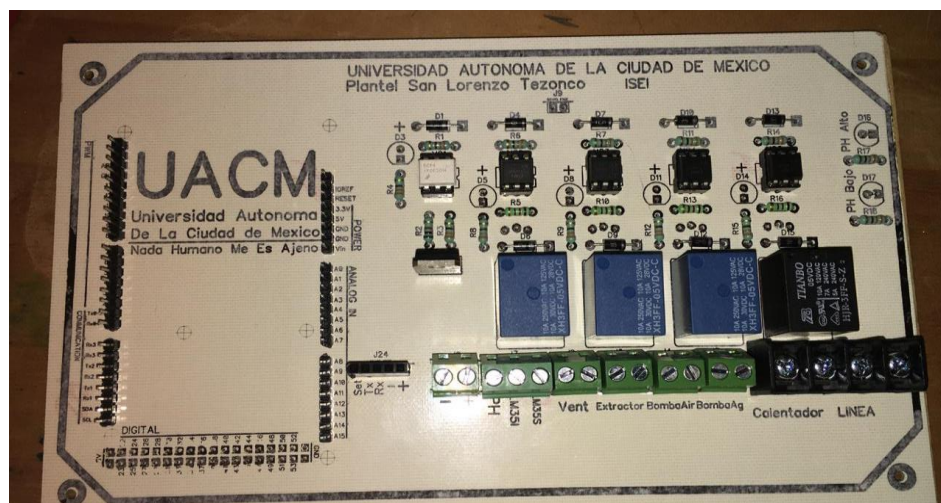


Figura 91. Placa final con todos los dispositivos.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO
Diodo rectificador 1N4007	12	\$ 12.00
Resistencia de 330 ohms	16	\$ 4.00
Resistencia de 1 K ohm	4	\$ 1.00
Resistencia de 120 ohms	8	\$ 2.00
Relevadores de 5V 10amp	3	\$ 45.00
TRIAC BTA08	1	\$ 17.00
Conexión kulka de dos vías	8	\$ 40.00
Tira Header hembra	2	\$ 20.00
Header macho	4	\$ 20.00
Transistor 2N2222	5	\$ 18.00
Optoacoplador 4N35	4	\$ 28.00
MOC 3041	1	\$ 15.00
Base para circuito	10	\$ 40.00
Placa fenólica	1	\$ 100.00
Total		\$ 362.00

Capítulo 8. Pruebas y resultados

Una vez teniendo todos los elementos necesarios procederemos a realizar el cultivo de lechuga tipo orejona para verificar el funcionamiento del invernadero automatizado.

En primer lugar se comienza por la siembra de la semilla en pequeños vasos, dicha siembra se hace de manera tradicional, colocando en cada recipiente de una a dos semillas, se debe mantener la tierra húmeda lo mayor posible, esto permitirá una mejor germinación de la plántula.



Figura 92. Siembra de semilla.

El período de germinación a partir de la siembra de la semilla es de aproximadamente 4 a 5 días, transcurrido este tiempo comenzará a brotar la plántula.



Figura 93. Germinación de las semillas.

Alrededor de los 8 días después de la siembra, la plántula comienza a notar un importante crecimiento.



Figura 94. Plántula de lechuga.

Dentro de los siguientes 7 días la plántula comienza a formarse y se procede a retirarla de la tierra para hacer el trasplante al sistema hidropónico.



Figura 95. Lechuga montada en el sistema hidropónico.

Realizado el trasplante al sistema hidropónico y colocadas las plántulas en los tubos de PVC dentro del invernadero comenzará el funcionamiento y monitoreo del sistema que se implementó, para que este trabaje de manera autónoma, permitiendo así tener un control visual de lo ocurrido con las variables a tratar.

En la placa de control se realizan las conexiones adecuadas, dicha placa se encuentra dentro de una carcasa para poder cubrirla de agentes externos que puedan dañar y/o maltratarla y es instalada dentro del invernadero.



Figura 96. Placa de control.

En la Figura 97 observamos cómo se comporta la temperatura dentro del invernadero en un rango de 24 horas, teniendo la comparación del registro de temperatura con el sistema y sin

el sistema, nos podemos percatar que nuestro control de temperatura funciona de manera adecuada.

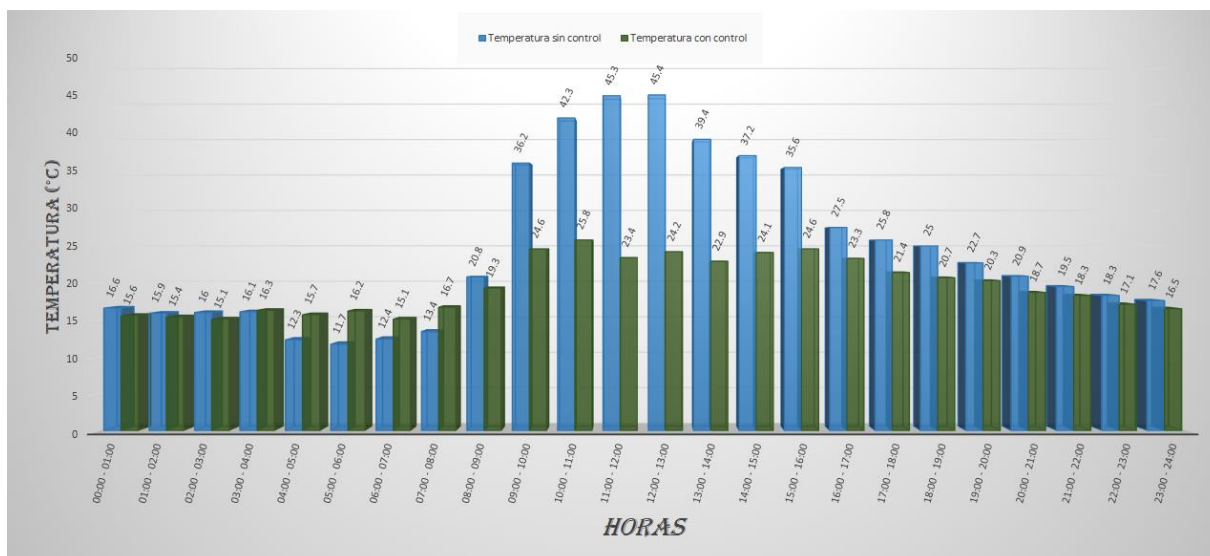


Figura 97. Rango de temperaturas.

Transcurridos 15 días a la fecha de la siembra de las semillas y ya con el sistema automatizado observamos el desarrollo y crecimiento de la plántula, así como también podemos ver como las raíces se encuentran en buen estado.



Figura 98. Raíces y crecimiento de lechugas.

Una semana después nos percatamos del gran crecimiento que ha tenido la lechuga hidropónica.



Figura 99. Lechuga Hidropónica final.

Mediante la interfaz de LabVIEW observamos el comportamiento de las variables en el invernadero. En esta pantalla podemos definir los rangos de temperatura y niveles de pH máximos y mínimos, así como también visualizamos la temperatura que se encuentra dentro del invernadero y nos daremos cuenta a partir de unos indicadores si se encuentra activo el ventilador o el calentador si es que la temperatura está por encima o debajo respectivamente de los parámetros establecidos; la temperatura de la solución nutritiva que de igual manera nos indicará si es que la temperatura rebasa los 22° C que entrará en función la bomba de aire para oxigenar dicha solución; así como también observamos el indicador de pH.

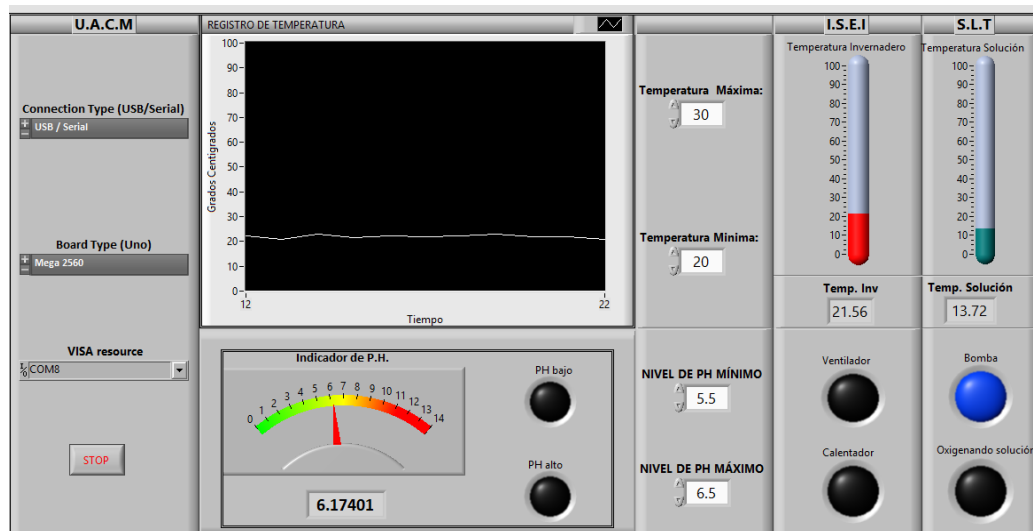


Figura 100. Interfaz para la interacción con el usuario.

Capítulo 9. Conclusiones

Alejandro Pérez Pradel.

En el presente trabajo se lograron cumplir con los objetivos planteados: controlar el clima dentro del invernadero de manera autónoma, tener un registro de los niveles de pH de la solución nutritiva, así como también en el control de tiempo para el suministro del flujo hacia la cosecha, de manera tal que puedan ser implementados en sistemas hidropónicos para una mejor cosecha con productos de gran calidad en el menor tiempo posible.

Tener un adecuado control de temperatura dentro del invernadero permitirá obtener cosechas en prácticamente cualquier época del año, ya que no tendremos afectación de condiciones extremas climatológicas.

Por otra parte, al desarrollar una interfaz que sea visualmente atractiva y de fácil manipulación y comprensión, además de poder monitorear lo ocurrido dentro del invernadero a una distancia aproximada de 1 Km, permitirá que cualquier persona pueda contar con un pequeño sistema en sus hogares permitiendo tener con un ingreso extra a la economía o simplemente obtener alimentos naturales altamente saludables.

A su vez en el desarrollo e implementación de este sistema se logró comprender y aplicar lo aprendido durante la formación profesional, funcionamiento y manipulación de componentes electrónicos así como también programación de lenguaje G que ofrece el software de LabVIEW y de lenguaje C en Arduino.

Cabe mencionar que con ayuda de avances tecnológicos y un buen desarrollo de implementación la ciencia y tecnología no están peleados con la afectación hacia la naturaleza sino por el contrario ayuda a mejorar posibles problemáticas que con el paso de tiempo y la creciente explotación demográfica enfrentamos en nuestros días.

Raúl Rafael Romero Molotla

El invernadero construido para obtener las condiciones ambientales deseadas, ha logrado obtener los objetivos que se propusieron desde el principio de este trabajo. Tales como el desarrollo de un programa para el monitoreo a distancia del invernadero con la finalidad de que fuera capaz de tener un control dentro de sí mismo.

El programa que se realizó en la interfaz LabVIEW nos ayudó a conocer más a fondo este tipo de lenguaje, el cual logramos desarrollar un panel frontal en el que logramos modificar parámetros climáticos, obteniendo visualmente los rangos en los que se encuentra nuestra temperatura como los niveles de pH en el que se encuentra nuestra solución nutritiva dentro del invernadero provocando que el clima fuese más agradable para los cultivos.

El invernadero construido logró obtener un mejor producto porque evita el uso de pesticidas que son nocivos para la salud, para lograr esto se tuvieron que dar las condiciones deseadas dentro del invernadero para que nuestro cultivo creciera de una manera idónea.

Cabe recalcar que en este tipo de invernaderos no simplemente se pueden cultivar un solo tipo de cosecha, sino también se puede cosechar otro tipo de cultivos que tengan las condiciones climáticas similares y así obtener distintas clases de cosechas en el mismo espacio, por ejemplo lechuga, pimiento, picante, etcétera. Debido a que comparten condiciones similares en la técnica N.F.T.

En el desarrollo de nuevas tecnologías para este campo de estudio, una de las cuestiones importantes es que se busca que los cultivos crezcan en cualquier época del año, teniendo así cultivos de una forma natural, estos deben estar en un entorno cerrado y controlado para un mejor crecimiento sin afectar el medio o entorno en el que se encuentran.

Referencias

- [1] <http://www.pa.gob.mx/publica/pa070510.htm>. [14 Julio 2018].
- [2] <https://www.citrusricus.com/blog/que-es-una-orangerie/>. [15 Julio 2018].
- [3] <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/evolucion-de-las-estructuras.pdf>. [18 Julio 2018].
- [4] <https://www.inforural.com.mx/agricultura-protegida-evolucion-y-exito-en-mexico/>. [21 Julio 2018].
- [5] <https://elholandespicante.com/plantas/la-historia-la-hidroponia/>. [23 Julio 2018].
- [6] <https://grupomsc.com/blog/invernadero/la-importancia-cultivar-invernadero>. [25 Julio 2018].
- [7] <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/evolucion-de-las-estructuras.pdf>. [28 Julio 2018].
- [8] <https://hidroponia.org.mx/>. [31 Julio 2018].
- [9] <https://generacionverde.com/blog/hidroponia/tipos-de-sistemas-hidroponicos/>. [3 agosto 2018].
- [10] <http://agriculturers.com/aprende-sobre-el-sistema-hidroponia-nft/>. [5 agosto 2018].
- [11] https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/35-3_Especial_5/8a.pdf. [7 agosto 2018].
- [12] https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=34. [11 agosto 2018].
- [13] http://www.mag.go.cr/rev_agr/v15n1-2_123.pdf. [14 agosto 2018].
- [14] (Dakota del Norte). Obtenido de <<http://www.ni.com/es-mx/shop/labview.html>> [12 Julio 2018].
- [15] n/a. Introducción a LabVIEW. (Dakota del Norte). Obtenido de <<https://docplayer.es/9361913-Introduccion-a-labview.html>> [14 Julio 2018].
- [16] n/a. ¿Qué es y para qué sirve Labview? (2012, 6 de agosto). Obtenido de <<https://estuelectronic.wordpress.com/2012/08/06/que-es-y-para-que-sirve-labview/>> [16 Julio 2018].
- [17] LabVIEW. (Dakota del Norte). Obtenido de <<https://es.scribd.com/document/48619823/LabVIEW>> [18 Julio 2018].

- [18] https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10676/Mem%C3%B2ria_IV.pdf?sequence=6&isAllowed=y. [20 Julio 2018].
- [19] http://galia.fc.uaslp.mx/~ducd/cursos/DSP/Manual_Labview_DSP.pdf
- [20] Tipos de datos y estructuras - Instrumentos nacionales. (2019). Obtenido de <<http://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/datatypes.htm>> [24 Julio 2018].
- [21] Subrutinas. (2019). Obtenido de <<http://isa.uniovi.es/~vsuarez/ii/CursoOnline/12asubrutinas.htm>> [26 Julio 2018].
- [22] Rivera. (2019). Funciones y subrutinas. Obtenido de <<https://es.slideshare.net/felipeeriveracastillo/funciones-y-subrutinas.>> [28 Julio 2018].
- [23] <http://movimientomecatronica.blogspot.com/2013/11/estructuras-de-secuencia-en-labview.html>> [30 Julio 2018].
- [24] (2019). Análisis y Visualización de datos. Obtenido de <<http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/labviewanalizaryvisualizardatos.pdf>> [1 agosto 2018].
- [25] José Rafael Lajara Vizcaíno, José Pelegrí Sebastiá (2011). LabVIEW: Entorno gráfico de programación (*2a Edición*). Via de les corts catalanes, Barc: marcombo ediciones tecnicas.
- [26] Arduino (2018). ¿QUÉ ES ARDUINO? [Online]. <<http://arduino.cl/que-es-arduino/>> [1 agosto 2018].
- [27] Yúbal FM (2018). Que es arduino, cómo funciona y que puedes hacer con uno [online]. <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno> [3 agosto 2018].
- [28] hacedores (2014) ¿Cuántos tipos diferentes de Arduino hay? [Online]. <<HTTPS://HACEDORES.COM/CUANTOS-TIPOS-DIFERENTES-DE-ARDUINO-HAY/#>> [5 agosto 2018].
- [29] Arduino (2018), ARDUINO MEGA 2560 R3 [Online]. <<HTTP://ARDUINO.CL/ARDUINO-MEGA-2560/>> [6 agosto 2018].
- [30] Delgado Manuel (2017). Arduino en español [Online]. <<http://manueldelgadocrespo.blogspot.com/p/arduino-mega-2560.html>> [8 agosto 2018].
- [31] National Instruments, 2018. ¿Qué es adquisición de datos? [Online]. <<https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>> [10 Agosto 2018].
- [32] Optoacoplador TRIAC MOC3041 | Nextia Fenix. (2016). Retrieved from <<https://www.nextiafenix.com/producto/optoacoplador-triac-moc3041/>> [12 Agosto 2018].
- [33] (2015). Obtenido de <https://techlandia.com/detector-cruce-cero-hechos_45009/> [15 Agosto 2018].

[34] BTA08 - 8A standard and Snubberless™ Triacs - STMicroelectronics. (2018). Retrieved from <<https://www.st.com/en/thyristors-scr-and-ac-switches/bta08.html>>[18 Agosto 2018].

[35] Nelson Alberto Rúa Ceballos, M. (2019). Acoplamiento óptico entre un sistema digital y una etapa de potencia - Monografias.com. Obtenido de <<https://www.monografias.com/trabajos35/acoplamiento-optico/acoplamiento-optico.shtml>>[20 Agosto 2018].

[36] HC-12 433MHz configuración del módulo de comunicación serie inalámbrica. (2016). Obtenido de <<https://quadmeup.com/hc-12-433mhz-wireless-serial-communication-module-configuration/>>[23 Agosto 2018].