



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA
EN EL INVERNADERO DE LA QUINTA AGUJA DE ORO.”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del:
Título de Ingeniero Electromecánico

Autores:

Christian Patricio Arias Murillo

Luis Andres Camacho Paucar

Tutor:
Edwin Homero Moreano Martínez Ing. MgC.

Latacunga - Ecuador

Septiembre - 2020



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros, **Christian Patricio Arias Murillo** y **Luis Andres Camacho Paucar** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA EN EL INVERNADERO DE LA QUINTA AGUJA DE ORO**, siendo MgC. Ing. Edwin Moreano tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Christian Patricio Arias Murillo

C.I. 050334930-0

Luis Andres Camacho Paucar

C.I. 180480415-9



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el título: **“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL DE TEMPERATURA EN EL INVERNADERO DE LA “QUINTA AGUJA DE ORO”** de Christian Patricio Arias Murillo, Luis Andres Camacho Paucar de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación de tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga Septiembre, 2020

Tutor

MgC. Moreano Martínez Edwin Homero

CC: 050260750-0



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicada ; por cuanto los postulantes: **Christian Patricio Arias Murillo** y **Luis Andres Camacho Paucar** con el título de Proyecto de titulación: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA EN EL INVERNADERO DE LA QUINTA AGUJA DE ORO** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, septiembre 2020

Para constancia firman:

Lector 1 (presidente)

Nombre: Corrales Bastidas Byron Paúl

CC: 05023477-6

Lector 2

Nombre: Porras Reyes Jefferson Alberto

CC: 070440044-9

Lector 3

Nombre: Cevallos Betún Segundo Ángel

CC: 050178243-7

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por permitirme gozar de salud y tener la dicha de disfrutar cada momento de mi vida, en especial en esta etapa tan anhelada de cumplir mi sueño.

A mis padres, que siempre me apoyaron en los buenos y malos momentos a pesar de todo nunca me dejaron solo, a quien debo este triunfo profesional, por todo su trabajo y dedicación que han realizado por darme una formación académica, por todo el amor que me han dado, este triunfo es de ellos y para ellos es todo mi agradecimiento.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, que fue mi segundo hogar quien me dio la oportunidad de aprender con excelentes profesionales.

A mi tutor MgC. Edwin Moreano por brindarme la orientación necesaria en el desarrollo de este proyecto

Christian Arias

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por guiar mis pasos y brindarme salud para conseguir mis metas, agradezco también profundamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas y por la confianza que otorga a todos los estudiantes con deseos de aprender, a la carrera de Ingeniería Electromecánica la cual ha contribuido con la formación de excelente profesionales y permitiéndome recorrer el arduo camino para de formación que esta conlleva enseñándome al mismo tiempo que cada día hay algo nuevo por aprender, de igual manera a cada uno de los docentes que han sabido guiarme y compartir su conocimiento y experiencia para la formación profesional de sus estudiantes, agradezco especialmente a mis padres por todo el esfuerzo y apoyo durante mis estudios y por enseñarme con ejemplos el significado de perseverancia y humildad.

Andres Camacho

DEDICATORIA

Doy gracias a Dios y a mi familia quienes me supieron ayudar en el transcurso de mi vida estudiantil. A la vez le doy las gracias a mi tutor que me supo ayudar en el desarrollo del presente proyecto. Ya que fue una fuente de conocimiento de la cual pudimos aprender muchos valores y conocimientos.

Christian Arias

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación principalmente a mis padres quienes son el mayor motivo en mi búsqueda de superación y formación profesional pues son quienes me han apoyado incondicionalmente y me han guiado por el camino de la perseverancia y dedicación, también a mis familiares y amigos que me han apoyado de todas las maneras posibles cuyas experiencias me han ayudado a madurar y formar mi carácter, haciendo posible el cumplimiento de mis metas.

Andres Camacho

INDÍCE GENERAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA	vii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. INFORMACIÓN BÁSICA	1
2. RESUMEN DEL PROYECTO	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	5
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	5
6. OBJETIVOS	6
General	6
Específicos	6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	7
8.1 Antecedentes	9
8.2 Situación Geográfica.....	9
8.3 Análisis climático.....	10
8.4. Condiciones ideales para el cultivo.....	12
8.4.1. Temperatura	12
8.4.2. Humedad	12
8.5. Invernaderos	13
8.5.1. Tipos de invernaderos	13
8.6. Métodos principales de aclimatación de invernaderos.....	14
8.6.1. Calefacción.....	14
8.6.2. Refrigeración.....	15
8.6.3. Ventilación	15
8.6.4. El uso de humidificación del cultivo o del aire	18
8.6.5. Aspersión y nebulización de agua	19
8.7. Sistema de control	19
8.7.1. Sistema de control lazo abierto	19
8.7.2. Sistema de control lazo cerrado.....	20
8.8 Tipos de control.....	20
8.8.1. Control ON – OFF.....	20
8.8.2. Control Proporcional	21

8.8.3. Control integral	21
8.8.4 Control batch.....	21
8.9 Automatización	22
8.9.1 Control automático.....	22
8.10 Componentes para el control automático de temperatura	22
8.10.1. Sensores.....	22
8.11. Actuadores.....	24
8.12. Controlador	24
8.13. PLC- Controladores Lógicos Programables.....	24
8.14. Software para programación de PLC	24
8.15. Lenguaje de programación de un PLC.....	25
8.15.1. Lenguajes de alto nivel.....	25
8.15.2. Lenguajes de bajo nivel.....	25
8.16. Visualización.....	25
8.16.1. Funciones que realiza un HMI	26
9. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA.....	27
10. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL:	27
10.1. Selección del sensor de temperatura	28
10.1.1. Numero de sensores de temperatura.....	29
10.2. Pérdidas energéticas	30
10.3. Ventilación	31
10.3.1. Caudal de aire requerido.....	31
10.3.2. Ventilación natural	31
10.3.3. Ventilación mecánica	32
10.4.4. Humidificación.....	33
10.5. Control del sistema.....	33
10.6. Controlador lógico programable (PLC)	34
10.7. Estructura del diagrama de flujo	37
10.8. Desarrollo de la programación en Tía Portal.....	38
10.9. Programación	40
10.10. Visualización del control de temperatura automático	40
10.11. Tiempo de recuperación de la inversión.....	40
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:.....	42
11.1. Condiciones iniciales del invernadero.....	42
11.2. Cálculo de energía calorífica.....	43
11.3. Caudal de aire requerido	44

11.4. Ventilación natural	44
11.5. Ventilación forzada	45
11.6. Sistema de nebulización	46
11.7. Análisis de resultados del sistema de control automático de temperatura	47
11.7.1. Diagrama PI&D del sistema.....	47
11.7.2. Elección del software	47
11.7.3. Programación	48
11.7.4. Visualización.....	49
11.8. Recuperación de la inversión	54
12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS):	55
12.2.1. Impacto económico	55
12.2.2. Impacto tecnológico	55
12.3.3. Impacto ambiental	56
13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO.....	56
13.1. Presupuesto	56
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
14.1. Conclusiones	58
14.2. Recomendaciones.....	59
15. REFERENCIAS	60

INDÍCE DE TABLAS

Tabla 5.1: Sistema de tareas por objetivo	6
Tabla 7.2: Sistema de tareas por objetivo	7
Tabla 8.3: Valores climáticos medidos en la Quinta Aguja de oro.....	11
Tabla 8.4: Temperatura de la vitalidad de las verduras.....	12
Tabla 8.5: Humedad de las Fresas.....	12
Tabla 10.6: Criterios de selección.....	28
Tabla 10.7: Características de los sensores más utilizados.	28
Tabla 10.8: Coeficientes globales de pérdida de calor de materiales para cubierta.	30
Tabla 10.9: Características de los PLC'S encontrados en el mercado	35
Tabla 10.10: Parámetros para la selección del PLC en base a sus variables.....	36
Tabla 10.11: Datos de entrada para la programación.....	38
Tabla 10.12: Datos de salida para la programación	38
Tabla 10.13: Marcas utilizadas para la programación.....	38

Tabla 10.14: Etapas de producción de la fresa.....	41
Tabla 11.15: Condiciones de temperatura y humedad en el invernadero	43
Tabla 11.16: Datos del invernadero	43
Tabla 11.17: Caudal de aire requerido por el invernadero.....	44
Tabla 11.18: Cálculo del área de por ventana	44
Tabla 11.19: Relación de área total de ventilación con la superficie	45
Tabla 11.20: Dimensiones de la ventana.....	45
Tabla 11.21: Cálculo del número de ventiladores.....	46
Tabla 11.22: Caudal del sistema de nebulización	46
Tabla 11.23: Número de fresas obtenidas en el invernadero	54
Tabla 11.24: Cantidad y peso de fresas obtenidas en la Quinta.....	54
Tabla 11.25: Cálculo de años de recuperación de la inversión	55
Tabla 13.26: Gastos directos del sistema automático	56
Tabla 13.27: Gastos de mano de obra	56
Tabla 13.28: Gastos directos	57
Tabla 13.29: Gasto en insumos	57
Tabla 13.30: Gastos varios.....	57
Tabla 13.31: Tabla de gastos indirectos.....	57
Tabla 13.32: Gastos totales	58
Tabla 13.33 Costo de inversión para la producción del cultivo	58

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 8.1: Plano de ubicación del Cantón Pujilí.....	10
Figura 8.2: Valores climáticos del cantón Pujilí.....	10
Figura 8.3: Distribución temporal de temperatura del cantón Pujilí.....	11
Figura 8.4: Distribución de temperaturas en el invernadero Quinta Aguja de Oro	12
Figura 8.5: Variación de las temperaturas de un invernadero.....	15
Figura 8.6: Ventilación Natural	16
Figura 8.7: Ventilación Mecánica Simple (Naves Anchas).....	16
Figura 8.8: Ventilación Mecánica Simple (Naves Estrechadas).....	16
Figura 8.9: Ventilación Mecánica Húmeda (Sistema por depresión)	17
Figura 8.10: Ventilación Mecánica Húmeda (Sistema por sobrepresión)	17
Figura 8.11: Sistemas de humidificación.....	19
Figura 8.12: Diagrama de bloque de un sistema lazo abierto	20

Figura 8.13: Diagrama de bloques de un sistema retroalimentado	20
Figura 8.14: Interfaz de programación, visualización y control para PLC	25
Figura 8.15: Ejemplo de HMI.....	26
Figura 10.16: Sensor EE211	29
Figura 10.17: Distribución de sensores en el invernadero	29
Figura 10.18: Esquema de distribución de válvulas y sistema de humidificación.....	33
Figura 10.19: Control lazo cerrado del sistema a simular.....	34
Figura 10.20: Diagrama de flujo	37
Figura 11.21: Diagrama p&id del sistema	47
Figura 11.22: Entorno TIA Portal líneas de segmentos	48
Figura 11.23: Ventana de inicio.....	49
Figura 11.24: Visualización de Win CC	49
Figura 11.25: Valores de temperatura y humedad	50
Figura 11.26: Indicador de temperatura y humedad	50
Figura 11.27: Selector de funcionamiento del invernadero	51
Figura 11.28: generador de archivo en Excel	51
Figura 11.29: Condiciones normales del invernadero	52
Figura 11.30: Temperatura máxima superada.....	52
Figura 11.31: Encendido de las ventanas.....	53
Figura 11.32: Encendido de los nebulizadores	53

INDÍCE DE ECUACIONES

$C = K * S * (t_i - t_e)$	(10.1).....	30
$Q = V * N$	(4. 2).....	31
$AvAs = 0,15 \text{ a } 0,25$	(4.3).....	32
$Q = Cv * Ae * v$	(4.4)	32
$N_{vent} = Q_{total} / q_{vent}$	(4.5).....	33
$F_{resas} = g / \text{plantag} / \text{fresa}$	(10.6).....	42
$Años = CtGa$	(10.7).....	42



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO: “DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA EN EL INVERNADERO DE LA QUINTA AGUJA DE ORO”

Autores: Christian Patricio Arias Murillo

Luis Andres Camacho Paucar

RESUMEN

El proyecto de investigación está encaminada a desarrollar un bosquejo conceptual que permita controlar las variables de temperatura y humedad gracias al diseño un sistema automático, en el invernadero en la “Quinta Aguja de Oro” ubicada en el barrio Alpamalag del cantón Pujilí perteneciente a la Provincia de Cotopaxi, el cultivo predeterminado del invernadero son las fresas, debido a que es el principal producto que el invernadero genera, mismo que requiere de condiciones específicas para su correcto desarrollo y productividad, anteriormente el control de las condiciones se regían por las condiciones climáticas y la transferencia de calor dentro del invernadero, causando la pérdida de la cosecha y el acortamiento de la vida de las plantas, motivo por el cual el costo de inversión en la producción del fruto se incrementa, generando la repetición de los procesos para efectuarlos, reflejado en la economía de los pequeños y medianos productores, es por ello que surge la necesidad de diseñar un sistema de control automático, que influyen directamente sobre el cultivo, para ello se planteó la utilización de métodos de climatización como la ventilación natural, la ventilación forzada y la humidificación del invernadero, logrando de esta manera mantener la temperatura y humedad ideal para el cultivo, se aplicó la investigación bibliográfica y de campo para determinar el estado del arte y mediante la simulación se comprobó el diseño conceptual misma que se presenta mediante la programación y la visualización del sistema en una interfaz gráfica obteniendo resultados favorables en el desarrollo de la producción del cultivo, se muestra a su vez una lista de productos predeterminados en el programa que podrían ser cultivados con sus respectivas condiciones, adicionalmente el sistema ofrece un control manual en caso de que el operador necesite manipular las variables involucradas en el sistema o en caso que se cultive otro producto diferente a los incluidos en el software. Finalmente se concluye que el software, permite la selección del producto a cultivar además la visualización del comportamiento de las variables en tiempo real para registrarlos en una base de datos.

Palabras clave: Diseño conceptual, sistema de control, invernaderos, temperatura, humedad



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
ELECTROMECHANICAL ENGINEERING CAREER

**TITLE: "DESIGN OF AN AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN
THE GREENHOUSE OF "LA QUINTA AGUJA DE ORO"**

Authors: Christian Patricio Arias Murillo

Luis Andres Camacho Paucar

ABSTRACT

The research project is aimed at developing a conceptual model that allows controlling the temperature and humidity variables thanks to the design of an automatic system, in the greenhouse of the "Quinta Aguja de Oro" farm located in the Alpamalag neighborhood of the Pujilí canton belonging to the Cotopaxi province, the default greenhouse crop is strawberries, because it is the main product that the greenhouse generates, which requires specific conditions for its proper development and productivity, previously the control of conditions was governed by climatic conditions and the transfer of heat inside the greenhouse, causing the loss of the harvest and the shortening of the life of the plants, which is why the investment cost in the production of the fruit increases, causing the processes to be repeated again to carry out production, reflected in the economy of small and medium producers, that is why it arises The need to design an automatic control system, which directly influence the crop, for this purpose the use of air conditioning methods such as natural ventilation, forced ventilation and humidification of the greenhouse was considered, thus achieving to maintain the temperature and humidity ideal for cultivation, bibliographic and field research was applied to determine the state of the art and by means of simulation the same conceptual design that is presented through programming and visualization of the system in a graphical interface was verified, obtaining favorable results in development production of the crop, a list of predetermined products is shown in the program that could be cultivated with their respective conditions, additionally the system offers manual control in case the operator needs to manipulate the variables involved in the system or in case another product other than those included is grown in the software. Finally, it is concluded that the software allows the selection of the product to be cultivated, as well as the visualization of the behavior of the variables in real time to record them in a database.

Keywords: Conceptual design, control system, greenhouses, temperature, humidity



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por los señores de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS** los señores **Christian Patricio Arias Murillo** y **Luis Andres Camacho Paucar**, cuyo título versa **“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA EN EL INVERNADERO DE LA QUINTA AGUJA DE ORO”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumplen con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, septiembre del 2020

Atentamente,

Lcdo. Collaguazo Vega Wilmer Patricio Mg. C.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 1722417571



1. INFORMACIÓN BÁSICA

Título de proyecto:

“Diseño de un sistema automático de control de temperatura en el invernadero de la Quinta Aguja de Oro”.

Fecha de inicio:

Octubre 2019

Fecha de finalización:

Septiembre 2020

Lugar de ejecución:

Provincia de Cotopaxi, Cantón Pujilí, Barrio Alpamalag, invernadero de la “Quinta Aguja de Oro”

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencia de la ingeniería y aplicada

Carrera que auspicia:

Ingeniería en Electromecánica

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN VINCULADO:

Diseño de un sistema automático de control de temperatura en el invernadero de la “Quinta Aguja de Oro”

Equipo de trabajo:

Christian Patricio Arias Murillo

Luis Andres Camacho Paucar

MgC. Ing. Edwin Homero Moreano Martínez

Área del conocimiento

De acuerdo a los datos emitidos por la UNESCO vigentes en la normativa del SENESCYT sobre las áreas y subáreas del conocimiento [1], el proyecto de investigación se encuentra en el área de ingeniería, industria y construcción, en la subárea de conocimiento #54 referente a Industria y Producción, que abordan temas como: de alimentación y bebidas, textiles,

confección, calzado, cuero, materiales (madera, papel, plástico, vidrio, etc.), minería e industrias extractivas.

Líneas de investigación:

De acuerdo a lo establecido por el departamento de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, la investigación se enfoca en la línea 4: Procesos Industriales.

Sub líneas de investigación de la carrera:

Sub línea 2 de la carrera de Ingeniería Electromecánica referente a: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

2. RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto de investigación está encaminada a desarrollar un bosquejo conceptual que permita controlar las variables de temperatura y humedad gracias al diseño un sistema automático, en el invernadero en la “Quinta Aguja de Oro” ubicada en el barrio Alpamalag del cantón Pujilí perteneciente a la Provincia de Cotopaxi, el cultivo predeterminado del invernadero son las fresas, debido a que es el principal producto que el invernadero genera, mismo que requiere de condiciones específicas para su correcto desarrollo y productividad, anteriormente el control de las condiciones se regían por las condiciones climáticas y la transferencia de calor dentro del invernadero, causando la pérdida de la cosecha y el acortamiento de la vida de las plantas, motivo por el cual el costo de inversión en la producción del fruto se incrementa, generando la repetición de los procesos para efectuarlos, reflejado en la economía de los pequeños y medianos productores, es por ello que surge la necesidad de diseñar un sistema de control automático, que influyen directamente sobre el cultivo, para ello se planteó la utilización de métodos de climatización como la ventilación natural, la ventilación forzada y la humidificación del invernadero, logrando de esta manera mantener la temperatura y humedad ideal para el cultivo, se aplicó la investigación bibliográfica y de campo para determinar el estado del arte y mediante la simulación se comprobó el diseño conceptual misma que se presenta mediante la programación y la visualización del sistema en una interfaz gráfica obteniendo resultados favorables en el desarrollo de la producción del cultivo, se muestra a su vez una lista de productos predeterminados en el programa que podrían ser cultivados con sus respectivas condiciones, adicionalmente el sistema ofrece un control manual en caso de que el operador necesite manipular las variables involucradas en el sistema o en caso que se cultive otro producto diferente a los incluidos en el software. Finalmente se concluye que el software,

permite la selección del producto a cultivar además la visualización del comportamiento de las variables en tiempo real para registrarlos en una base de datos.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Debido a la inexistencia del control de temperatura y humedad dentro del invernadero, se tiene como resultado la pérdida de la cosecha y el acortamiento de la vida de las plantas, motivo por el cual el costo de inversión en la producción del fruto se incrementa puesto que para volver a sembrar el producto de debe preparar el terreno nuevamente, generando pérdidas económicas para los agricultores e incrementando el tiempo de espera para la obtención de las fresas, es por esta razón que surge la necesidad de diseñar un sistema de control automático de temperatura con el fin de controlar adecuadamente las variables de temperatura y humedad que influyen directamente sobre el cultivo, en la actualidad la tecnología se ha desarrollado de una manera notoria con la finalidad de facilitar las labores del ser humano en todos los campos existentes, la actividad agrícola no es la excepción, esta industria se ha visto en la necesidad de acelerar el proceso de cultivo.

El proyecto de investigación permite generar el diseño conceptual mismo que se utiliza la simulación respectiva para validar la propuesta, de igual manera en la que se aporta los conocimientos adquiridos en todo el proceso universitario. Además, gracias a las diferentes tecnologías se puede producir durante todo un año sin necesidad de los aspectos climáticos que normalmente se requieren para generar productos agrícolas, a través de normativa existentes para garantizar el funcionamiento. La investigación tendrá como beneficiarios las personas de los alrededores de Alpacalag, hombres, mujeres para cubrir los diferentes procesos llevados a cabo en el invernadero, y los postulantes que realizaron el proyecto.

Fundamentación Legal

La Universidad Técnica de Cotopaxi en base al diagnóstico situacional de la zona 3 (Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Pastaza) y a las prioridades institucionales de mejora de los procesos de investigación científica y tecnológica se propone actualizar las líneas de investigación acorde a los planes de desarrollo local, regional y nacional.

De esta manera procede a dar cumplimiento al plan estratégico de desarrollo institucional 2011-2015 y a cubrir las necesidades internas donde se observa un crecimiento considerable de la ejecución de proyectos de investigación en distintas áreas del conocimiento. El diseño de las mismas se ha realizado para abarcar todas las carreras ofertadas por la Universidad.

Por ello, plantea las siguientes líneas de investigación para el periodo 2015-2020, teniendo en cuenta que debido a su condición dinámica pueden ser modificadas según las demandas de la sociedad y de las necesidades de la institución.

El estudio de los principios de conversión de energía electromecánica y el desarrollo de modelos para los componentes de un sistema electromecánico, parte desde la formación para el diseño y fabricación de elementos de máquinas, mecanismos y utillajes mecánicos; diseño, selección y mantenimiento de turbo máquinas térmicas, hidráulicas y neumáticas; así como de compresores, calderas y equipos de bombeo y diseño de sistemas de acondicionamiento de aire y ventilación, la selección, instalación y mantenimiento de plantas generadoras de energía eléctrica y motores eléctricos; para el diseño, supervisión y ejecución de instalaciones de sistemas de potencia y para trabajos especializados en instrumentación y electrónica industrial.

Para la elaboración de los programas de trabajo para la investigación, se han tomado en consideración las competencias específicas de la carrera Electromecánica definidas en el diseño curricular vigente. Las competencias son las siguientes:

- Diseña, opera y construye sistemas eléctricos de potencia dentro del área de la generación, distribución y transmisión. así como también desarrolla la investigación de fuentes alternativas de energía y la eficiencia energética.

- Diseña, planifica, construye y dirige la operación de sistemas mecánicos, la selección y utilización de máquinas herramientas y elementos mecánicos, la conversión y uso racional de la energía.

- Diseña, construye y opera sistemas de automatización de procesos industriales mediante la aplicación de oleo neumática, dispositivos electrónicos y equipos HMI.

Las competencias definen la formación técnica del estudiante, la misma que es delimitada en función de los requerimientos de las problemáticas de la provincia de Cotopaxi, zona 3 (principalmente) y del país, por lo tanto, nuestro proyecto está enfocado en la segunda Sub línea de investigación.

- Automatización, Control y Protecciones de Sistemas Electromecánicos.

Art. 80.- El Estado fomentará la ciencia y la tecnología, especialmente en todos los niveles educativos, dirigidas a mejorar la productividad, la competitividad, el manejo sustentable de los recursos naturales, y a satisfacer las necesidades básicas de la población.

Garantizará la libertad de las actividades científicas y tecnológicas y la protección legal de sus resultados, así como el conocimiento ancestral colectivo.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Beneficiarios directos:

El dueño de la Quinta Ajuga de Oro y los postulantes.

Beneficiarios indirectos:

Personas de los alrededores de Alpamalag, hombres, mujeres para cubrir los diferentes procesos llevados a cabo en el invernadero y consumidos.

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación se basa en la problemática que enfrenta el área agrícola a nivel nacional, donde uno de los principales factores se debe a los cambios drásticos de temperatura existentes en los últimos años, lo que provoca la variación de humedad y temperatura en el invernadero, causando la pérdida de la cosecha y el acortamiento de la vida de las plantas, motivo por el cual el costo de inversión en la producción del fruto se incrementa, provocando el volver a repetir los procesos para efectuarlos, reflejado en la economía de los pequeños y medianos productores.

En la provincia de Cotopaxi el nivel de productivo en el área agrícola se ha visto afectado por los factores ya mencionados, la mayoría de productores no cuentan con la tecnología necesaria para evitar estos inconvenientes, ya sea por el alto costo que conlleva la automatización de un proceso, o la falta de conocimiento con respecto a la automatización. Las industrias cotopaxenses han demostrado un déficit evidente en cuanto al desarrollo de Tecnologías, haciendo que los invernaderos o fábricas que poseen sistemas automáticos desplieguen a los pequeños productores del mercado nacional, lamentablemente no son muchas las industrias que posean sistemas automáticos para mejorar su elaboración, por lo cual se ha visto necesario realizar el diseño de un sistema de control de ciertos procesos de manera automática y con esto utilizar las nuevas tecnologías para lograr un excelente desarrollo de las industrias, donde la inexistencia del control de temperatura y humedad del invernadero, generado por los cambios drásticos de temperatura ambiental del sector como es la “Quinta Aguja de Oro” crea inconvenientes como son la desecación en plantas, misma que tiene como consecuencia pérdidas económicas y de producción.

En la “Quinta Aguja de Oro” del cantón Pujilí se observa la carencia de implementos tecnológicos para la realización del proceso de obtención de cultivos, este proceso demanda la constante presencia e inspección visual del ser humano, otro inconveniente es la pérdida del producto por factores climáticos. La Quinta realiza todos los procesos de cultivo de forma manual, por eso como primera instancia del proyecto se propone el diseño de un sistema de control de temperatura y humedad para fresas. Tomando en cuenta la demanda del producto se opta por optimizar el tiempo de producción a través de un controlador lógico programable, cabe resaltar que el proceso de cosecha queda fuera de este proyecto.

Tabla 5.1: Sistema de tareas por objetivo

MATRIZ CAUSA Y EFECTO			
PARÁMETROS			CONSECUENCIAS
INEXISTENCIA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	Temperatura	Alta	Marchitar el tejido del cultivo, mayor requerimiento de recursos.
		Baja	Desarrollo más lento del cultivo, deshidratación del cultivo.
	Humedad	Alta	Dificulta asimilación de nutrientes.
		Baja	Evaporación excesiva de agua.
ACCIONES			RESULTADO
DISEÑO CONCEPTUAL	Ventilación Natural		Control de temperatura en rangos óptimos en el interior del invernadero
	Ventilación Forzada		
	Humidificación		Control de humedad en rangos óptimos en el interior del invernadero

6. OBJETIVOS

General

Diseñar de forma conceptual un sistema automático de control de temperatura y humedad en el invernadero de la “Quinta Aguja de Oro” mediante la utilización de tecnología existente en el mercado, para generar las condiciones óptimas del fruto.

Específicos

- Realizar una investigación bibliográfica de los sistemas de automatización en procesos relacionados con la industria agrícola mediante artículos científicos y libros.
- Identificar los rangos de temperatura y humedad óptimos para el crecimiento del fruto.

- Realizar el diseño conceptual de control automático de temperatura y humedad mediante los rangos óptimos para el cultivo del producto.
- Efectuar las pruebas de simulación para validar el funcionamiento del control automático de temperatura y humedad.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 7.2: Sistema de tareas por objetivo

OBJETIVO	TAREAS POR OBJETIVO	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD
Realizar una investigación bibliográfica de los sistemas de automatización en procesos relacionados con la industria agrícola mediante artículos científicos y libros.	Recopilar información referente al desarrollo de la automatización a nivel general.	Obtención de datos para llevar a cabo la automatización y los elementos necesarios para su funcionamiento	Investigación documental y bibliográfica
	Buscar las normativas nacionales o internacionales que respalden el proyecto.	Normativa que avale sistema control y justifique el proceso utilizado para su diseño	Investigación documental y bibliográfica
Identificar los rangos de temperatura y humedad óptimos para el crecimiento del fruto.	Investigar la situación geográfica.	Conocer la ubicación geográfica del sitio.	Mapa
	Análisis climático.	Condiciones necesarias para el proyecto	Investigar el comportamiento climático del sector.
	Matriz de Variables	Conocer las variables a controlar.	Tabla de variables de entrada y salida del sistema.
	Obtener los datos en tiempo real	Condiciones necesarias para el proyecto	Climatología y precipitación

Realizar el diseño conceptual de control automático de temperatura y humedad mediante los rangos óptimos para el cultivo del producto.	Seleccionar el sistema de control adecuado para el óptimo funcionamiento.	Elección de un sistema de control en lazo abierto o lazo cerrado.	Realización del diagrama de control del sistema.
	Determinar los elementos necesarios para el proceso de automatización	Conocimiento de los elementos utilizados para el sistema de control.	Diseñar los actuadores y elementos de control requeridos.
	Seleccionar el software para la realización de las diferentes secuencias requeridas por el sistema.	Elección del software para generar la programación y visualización del proyecto.	Realizar la programación en el software utilizado en el proyecto de investigación.
Efectuar las pruebas de simulación para validar el funcionamiento del control automático de temperatura y humedad.	Comparación de presupuesto y análisis de mercado.	Tabla de valores para el presupuesto y recuperación de la inversión.	Comparación del costo de inversión en relación a los beneficios del sistema.
	Verificar las líneas de programación realizadas para el funcionamiento del sistema.	Funcionamiento sin ningún tipo de error en el software del programa.	Revisión de las líneas o bloques de programas realizados.
	Simular el sistema automático para su respectivo análisis.	Visualización del sistema automático de control de temperatura	Observación del comportamiento de las variables en el sistema diseñado.
	Mostrar los resultados obtenidos para demostrar la eficiencia del sistema.	Generación de una tabla de resultados con los datos obtenidos durante la simulación.	Análisis del control automático de temperatura mediante una tabla de valores.

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1 Antecedentes

Desde el tiempos remotos la agricultura ha sido un proceso vital en la evolución del ser humano, por ello se ha visto en la necesidad de desarrollar diversas herramientas que faciliten el desempeño de su labor de una manera eficiente, en su primera etapa, el ser humano empleó animales los cuales ahorraron gran esfuerzo a los agricultores, después se empezaron a fabricar herramientas rústicas en materiales como piedra, madera hasta la llegada del hierro, elemento con el cual se realizaron herramientas con mayor precisión, finalmente en las últimas décadas se incorpora el uso de máquinas y la tecnología direccionada a la industria agrícola, obteniendo resultados favorables.

La automatización ha incursionado en todos los campos en los que se desempeña el ser humano, en la industria agrícola se ha visto grandes avances gracias a los sistemas de control autónomos que cada vez son más comunes en el mundo, tal es el caso de la tesis realizada por los estudiantes de la Escuela especializada de Ingeniería bajo el nombre de “Automatización de invernadero para cultivos hidropónicos en el Salvador” en donde se llega a la siguiente conclusión: “El trabajo con cultivos hidropónicos automatizados permite el manejo inteligente de nutrientes y condiciones ambientales que resultan inmanejables en cultivos en tierra, logrando mayor producción y mejorando la calidad” [2].

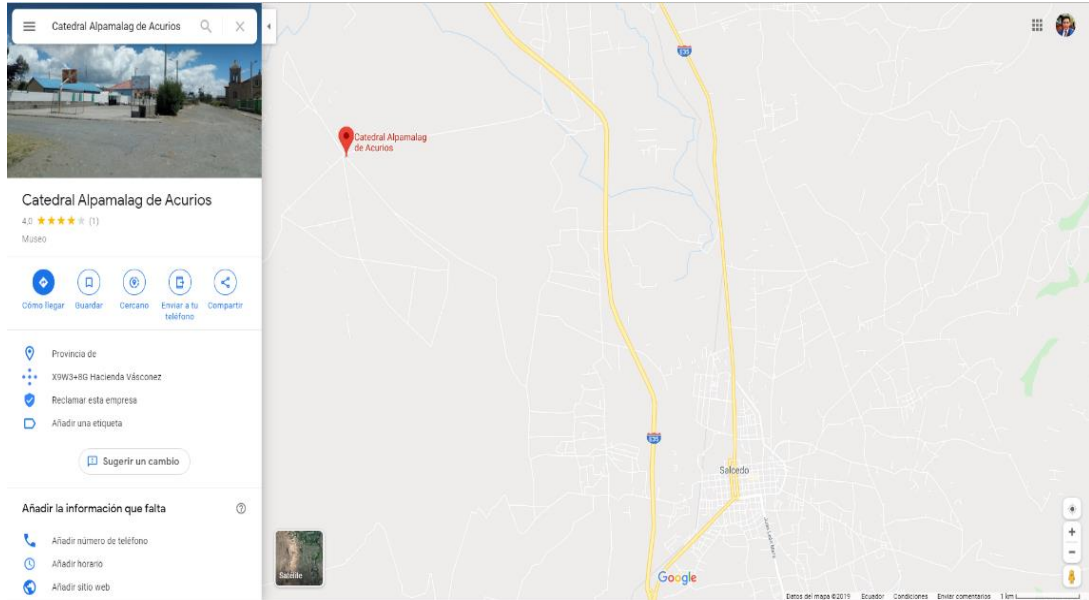
De igual manera, en Ecuador se han llevado a cabo procesos de automatización con mayor frecuencia en el campo de la agricultura, esto ha permitido a los productores a generar productos de una manera más eficaz en un tiempo relativamente más corto, como se puede evidenciar en el trabajo autónomo desarrollado con el título “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA HUERTO DOMÉSTICO CON TECNOLOGÍA AEROPÓNICA” realizado por un estudiante de la carrera de Ingeniería en electrónica y control de la Universidad Politécnica Nacional, donde se concluye que es de vital importancia realizar la automatización de un huerto aeropónico desarrollado con controladores programables, puesto a que éste sistema es de gran accesibilidad con respecto a las variables utilizadas para el control y monitoreo de procesos agrícolas [3].

8.2 Situación Geográfica

Pujilí es una ciudad localizada al centro de la Región interandina del Ecuador, al este de la ciudad de Latacunga, a una altitud de 2500 msnm y con un clima andino de 13°C en promedio.

Pujilí se caracteriza por su amplia actividad agrícola y ganadera. La ciudad es uno de los principales centros económicos y comerciales de la provincia de Cotopaxi. Su economía se basa en la agricultura, la producción de flores, el comercio y la ganadería.

Figura 8.1: Plano de ubicación del Cantón Pujilí



Fuente: [4]

8.3 Análisis climático

Es de vital importancia la climatización de los invernaderos para aumentar la vida útil de los vegetales de esta manera se presentan las condiciones propicias para el desarrollo en condiciones óptimas.

Figura 8.2: Valores climáticos del cantón Pujilí

M1210																		
PUJILI																		
INAMHI																		
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)					HUMEDAD RELATIVA (%)				PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación		
		ABSOLUTAS		M E D I A S			Máxima día	Mínima día	Media	Mensual			Mensual	Máxima en 24hrs	Máxima en día			
ENERO	156.4				20.5	6.4					13.5							83
FEBRERO	70.3		5.4	5	19.0	6.5	12.2	100	12	59	8	89	10.4	12.7	108.0	36.2	13	
MARZO	99.1		5.2	22	19.4	6.6	12.8					86	10.4	12.7	55.9	8.8	24	
ABRIL	144.1				20.3	6.3	13.0					84	10.1	12.5	47.4	12.0	22	
MAYO	107.2		4.4	4	19.8	6.5	12.2					90	10.4	12.7	70.2	18.5	5	
JUNIO	123.6				20.0	6.7	12.3	100	17	51	25	88	10.0	12.4	29.3	26.5	2	
JULIO	133.3	21.5	10		19.7	6.8	11.8	100	4	57	4	88	9.8	12.2	4.5	2.2	7	
AGOSTO	169.3				19.7	6.5	12.0	100	11	57	8	86	9.6	12.1	5.9	2.0	11	
SEPTIEMBRE	130.2	22.0	3		20.1	6.3	12.2	96	6	55	3	86	9.8	12.2	1.3	0.5	18	
OCTUBRE	154.6	22.5	1	4.6	1	20.3	6.1	12.3					88	10.3	12.6	53.4	13.9	13
NOVIEMBRE	115.7		5.4	28	20.5	6.5	12.5	98	7	52	28	90	10.8	13.1	14.2			
DICIEMBRE																		
VALOR ANUAL																		

Fuente: [5].

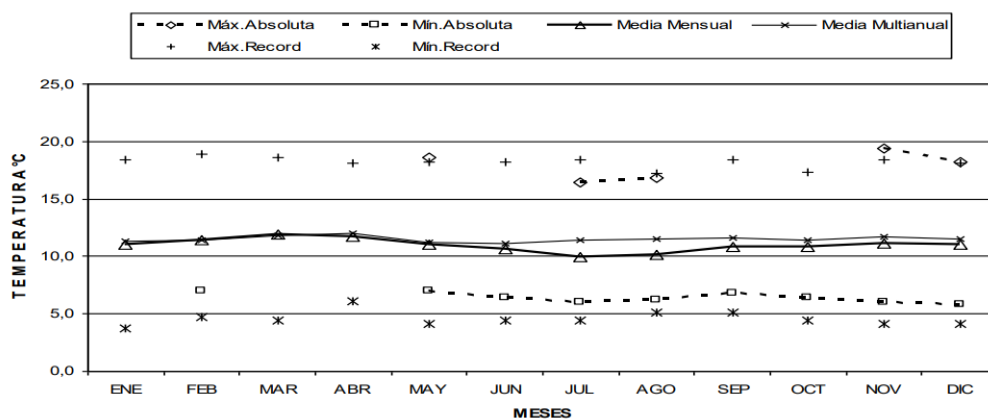
Tabla 8.3: Valores climáticos medidos en la Quinta Aguja de oro

QUINTA AJUGA DE ORO										
fecha	año	T-min	Tmax	T-prom	T-in-min	T-in-max	T-pro	V-min	V-max	V-Pro
AGOSTO	2019	4,69	19,69	12,19	10,29	29,69	19,99	4,10	11,30	7,70
SEPTIEMBRE	2019	5,69	20,69	13,19	11,69	30,69	21,19	0,09	10,80	5,45
OCTUBRE	2019	4,99	19,19	12,09	10,99	29,99	20,49	0,14	10,80	5,47
NOVIEMBRE	2019	5,12	19,62	12,37	11,12	30,12	20,62	2,30	9,50	5,90
DICIEMBRE	2019	4,42	17,42	10,92	10,42	29,42	19,92	1,20	9,10	5,15
ENERO	2020	4,42	18,42	11,42	11,42	30,42	20,92	1,50	9,20	5,35
FEBRERO	2020	4,69	17,69	11,19	10,69	27,69	19,19	0,10	10,60	5,35
MARZO	2020	4,68	20,68	12,68	12,68	31,68	22,18	0,20	9,90	5,05

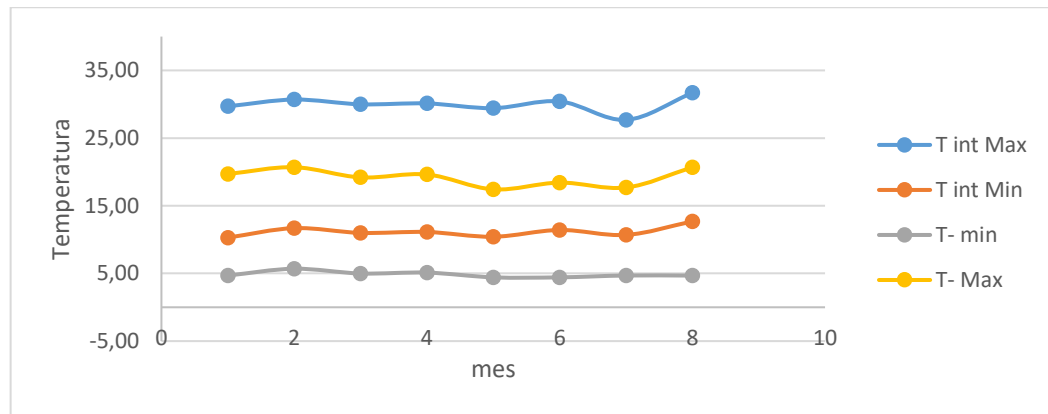
Fuente: [5].

Estos datos reflejan una aproximación a la situación climática actual de la zona de estudio. Algunos aspectos a destacar son los siguientes; la temperatura mínima en ningún caso baja de 0°C por lo que no se necesita preocuparnos por una posible congelación de la cosecha, que se da a -0.5°C. La temperatura media de todos los meses es superior a 10°C y tomando en cuenta que para el cultivo de fresas es desfavorable que la temperatura promedio esté por debajo de las 8-10°C, Las fresas no bajarían su calidad. Por lo que refiere a la humedad media relativa se observa que oscila entre 80 y 90 % por lo que es ideal ya que la humedad relativa óptima para el cultivo de fresas oscila entre 60 y 80 % Se requiere de un procedimiento adicional para la corrección de la humedad relativa. A continuación, se muestra una tabla resumen con los valores extremos registrados en la estación meteorológica del Aeropuerto de Almería entre los años 2017 al 2019, obtenida de la INAMHI. Se ha escogido datos del cantón Pujilí puesto que la localidad de Alpamalag no dispone de dicha información y estos datos son de la estación más próxima, de igual manera se muestra un análisis con los datos medidos en el sector.

Figura 8.3: Distribución temporal de temperatura del cantón Pujilí



Fuente: [5].

Figura 8.4: Distribución de temperaturas en el invernadero Quinta Aguja de Oro

8.4. Condiciones ideales para el cultivo

Es necesario determinar los valores determinados en los cuales el producto se desarrolle de una manera óptima, en este caso se presenta el rango de temperatura y humedad relativa recomendada para el crecimiento de las fresas.

8.4.1. Temperatura

Las frutillas cuentan con la capacidad de cultivarse en un rango bastante amplio de climas, sin embargo, es evidente que para obtener mejores rendimientos este fruto requiere de zonas templadas, sin vientos ni heladas, evitando a su vez lluvias y elevadas temperaturas [6]. Las temperaturas óptimas son las indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 8.4: Temperatura de la vitalidad de las verduras

Producto	Temp. óptima	Calefaccionar por debajo de
Fresa/frutilla	15-20 °C	2 °C max 40 °C

Fuente: [7].

8.4.2. Humedad

La humedad del aire interior de un invernadero es muy importante para la vida de las plantas. Interviene en el crecimiento, en la transpiración, la fecundación de las flores y en el desarrollo de enfermedades, cuando es excesiva [6]. La siguiente tabla muestra los valores adecuados del cultivo.

Tabla 8.5: Humedad de las Fresas

Producto	Humedad
Fresas	60-80%

Fuente: [7].

Si la humedad es excesiva dificulta la evaporación y si es escasa aumenta la transpiración hasta llegar a dificultar la fotosíntesis, la humedad, con la misma cantidad de agua en el ambiente, varía con la temperatura por lo que debe controlarse ambos parámetros para dar con las mejores condiciones, una humedad excesiva se corrige con ventilación, elevando la temperatura y evitando suelos húmedos y por contra, se beneficia si es escasa, con riego, nebulización de agua o superficies presentes de agua.

8.5. Invernaderos

Se conoce como invernadero a toda estructura o construcción agrícola compuesta por paredes y cubierta transparentes que permiten la obtención de condiciones artificiales de microclima, es decir es un espacio en el que es posible simular condiciones climáticas eficientes para la crianza de cultivos generando un ambiente independiente al ambiente exterior [8].

La información pertinente para diseñar invernaderos se detalla en la norma UNE-EN 1337-1:2001. Apoyos estructurales. Parte 1: Reglas generales de diseño para invernaderos y en la norma UNE-EN 13031-1:2002. Invernaderos. Proyecto y construcción. Parte 1: Invernaderos para producción comercial con la norma.

8.5.1. Tipos de invernaderos

Invernaderos planos o tipo parral

Este tipo de invernadero se utiliza en zonas poco lluviosas, aunque no es aconsejable su construcción. La estructura de estos invernaderos se encuentra constituida por dos partes claramente diferenciadas, una estructura vertical y otra horizontal [9].

Invernadero en raspa y amagado

Su estructura es muy similar al tipo parral, pero varía la forma de la cubierta. Se aumenta la altura máxima del invernadero en la cumbre, que oscila entre 3 y 4,2 m, formando lo que se conoce como raspa. En la parte más baja, conocida como amagado, se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante vientos y horquillas de hierro que permite colocar los canalones para el desagüe de las aguas pluviales. La altura del amagado oscila de 2 a 2,8 m, la de las bandas entre 2 y 2,5 m [10].

Invernadero asimétrico o tropical

Difiere del tipo raspa y amagado en el aumento de la superficie en la cara expuesta al sur, con objeto de aumentar su capacidad de captación de la radiación solar. Para ello el invernadero se orienta en sentido este-oeste, paralelo al recorrido aparente del sol. La inclinación de la cubierta

debe ser aquella que permita que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la cubierta al mediodía solar durante el solsticio de invierno, época en la que el sol alcanza su punto más bajo. Este ángulo deberá ser próximo a 60° pero ocasiona grandes inconvenientes por la inestabilidad de la estructura a los fuertes vientos. Por ello se han tomado ángulos comprendidos entre los 7° y 9° en la cara sur y entre los 15° y 23° en la cara norte [10].

Invernaderos de capilla

Los invernaderos de capilla simple tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas. Si la inclinación de los planos de la techumbre es mayor a 25° no ofrecen inconvenientes en la evacuación del agua de lluvia. La ventilación es por ventanas frontales y laterales. Cuando se trata de estructuras formadas por varias naves unidas la ausencia de ventanas cenitales dificulta la ventilación [9].

Invernadero túnel o semicilíndrico

Se caracteriza por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. El empleo de este tipo de invernadero se está extendiendo por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas [10].

8.6. Métodos principales de aclimatación de invernaderos

La idea de los invernaderos surge por la necesidad de generar ambientes que garanticen un alto rendimiento de producción y calidad aun si las condiciones externas no son favorables. Son tres los principales métodos de aclimatación para invernaderos cuyo objetivo es el control de la temperatura y humedad para obtener las mejores condiciones dependiendo el cultivo que se desea producir.

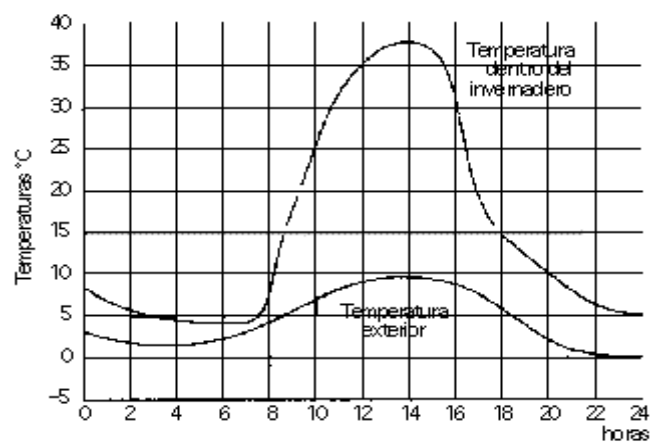
8.6.1. Calefacción

Para climas en los cuales las temperaturas bajan dominan la mayor parte del tiempo y se encuentran por debajo de la temperatura óptima que el producto a cultivar necesita, se recurre a la calefacción, existen varios equipos que cumplen esta función como por ejemplo los generadores de aire caliente con quemadores de aceite. Por lo general la calefacción eléctrica, no son las más indicadas para este trabajo. La calefacción debe compensar pérdidas de calor por radiación, renovación de aire, conducción, convección y por el suelo [11].

8.6.2. Refrigeración

Según sea el material de la cubierta del invernadero la radiación solar, que en la zona mediterránea alcanza hasta 600 W/m^2 , puede determinar un sobrecalentamiento del aire interior muy alto. El proceso abarca la eliminación del sobrecalentamiento para obtener la temperatura lo mayor cercana posible a la óptima. La siguiente gráfica muestra la diferencia de temperatura entre la interior y exterior de un invernadero cerrado, sin aberturas, a lo largo de las horas del día.

Figura 8.5: Variación de las temperaturas de un invernadero en ambiente cerrado



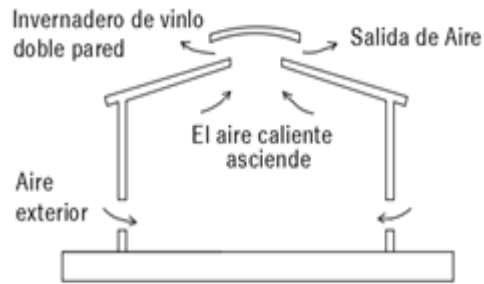
Fuente: [11].

8.6.3. Ventilación

Este método consiste en la sustitución de aire caliente del interior de un invernadero por aire frío procedente del exterior. La transferencia de calor se puede realizar de manera natural o forzada, se debe elegir cualquier sistema de ventilación siempre que se tome en cuenta el tipo de cultivo y las características del lugar en el que se procede a instalar el sistema.

Ventilación Natural

Se considera ventilación natural cuando no existe la presencia de actuadores como ventiladores, según la forma del invernadero el aire caliente del invernadero es forzado a ascender debido al aire que ingresa desde la parte inferior a través de ventanas, el aire cálido asciende hasta llegar a las aberturas del techo, mismas por donde las corrientes de aire salen.

Figura 8.6: Ventilación Natural

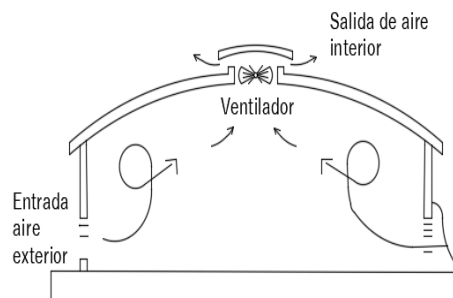
Fuente: [11].

Ventilación forzada o mecánica

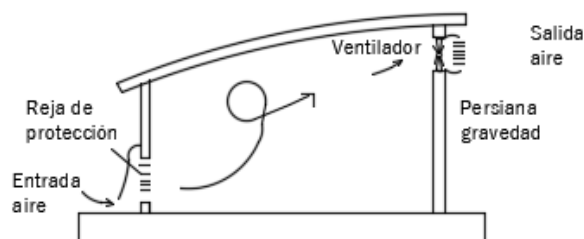
Se produce cuando la circulación del viento requiere de máquinas o actuadores que regulan el nivel de temperatura a estándares que requiera el proceso. Se divide principalmente en:

Ventilación mecánica simple

La ventilación mecánica se da cuando la transferencia de calor se realiza por medio de ventiladores electromecánicos colocados en la cubierta o en la parte alta de un lateral del invernadero, dependiendo del ancho de la misma. Los ingresos de aire externo se disponen por la parte baja de la pared opuesta a la de los ventiladores o por ambas si la descarga es central.

Figura 8.7: Ventilación Mecánica Simple (Naves Anchas)

Fuente: [11].

Figura 8.8: Ventilación Mecánica Simple (Naves Estrechas)

Fuente: [11].

Se define como "simple" el hecho de conducir el aire del exterior, con su temperatura y humedad y descargarlo, después de barrer el interior, dirigiendo la humedad, gases y carga de calor hacia el exterior. Es lógico que la temperatura mínima interior que puede esperarse con este sistema sea a lo sumo la misma que la del aire exterior.

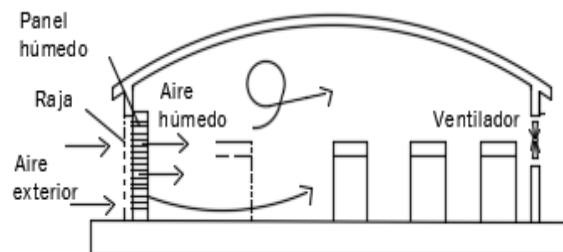
Los ventiladores se distribuyen a lo largo de la nave, en la cubierta o un lateral, distanciados entre 7 a 10 metros uno de otro. En el caso de ventiladores laterales se colocan persianas de gravedad para evitar corrientes contrarias cuando los aparatos estén parados.

La conexión eléctrica de los ventiladores se hace a través de reguladores de velocidad que permiten obtener regímenes de ventilación distintos de acuerdo a las necesidades [11].

Ventilación mecánica húmeda

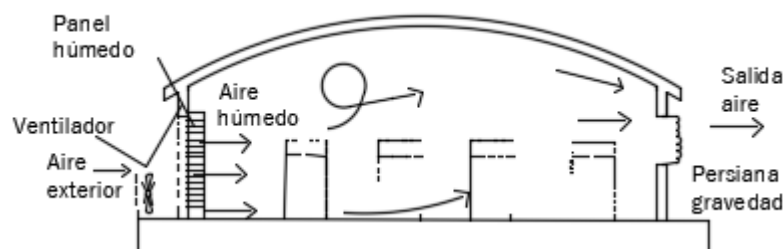
Este sistema consiste en saturar de humedad el aire de entrada forzándola a atravesar unos paneles de gran superficie diseñados con material fibroso rociado de agua. Unos canales perforados a lo largo de la parte alta de los paneles suministran agua continuamente que los mantiene mojados.

Figura 8.9: Ventilación Mecánica Húmeda (Sistema por depresión)



Fuente: [11].

Figura 8.10: Ventilación Mecánica Húmeda (Sistema por sobrepresión)



Fuente: [11].

El aire exterior impulsado por un ventilador contra los paneles en el caso de una instalación por sobrepresión o bien succionado por un extractor en la pared opuesta de la nave, en el caso de

depresión, penetra en el invernadero saturado de humedad y con una temperatura más baja, dentro del local se mezcla con el aire ambiente y se evapora rebajando la temperatura y modificando su humedad, el aire a la salida será la resultante de la mezcla, arrastrando también los gases existentes [11].

El diseño en la disposición de los ventiladores y los paneles deben resolver los problemas de la velocidad del aire sobre las plantas y los gradientes de temperaturas dentro del invernadero.

8.6.4. El uso de humidificación del cultivo o del aire

Para una correcta climatización de un invernadero, la humedad es una variable muy significativa, si la humedad del invernadero se reduce, es posible trabajar con sistemas de humidificación del aire para aumentar la humedad y reducir la temperatura del invernadero, existen, por así decirlo, dos posibilidades: humidificación del cultivo y humidificación del aire, en el caso de la humidificación del cultivo se produce un enfriamiento directo de la planta, ya que el agua de la planta se evapora, con la humidificación del aire, se introducen en el invernadero gotas de agua de tamaño muy pequeño a gran presión en forma de neblina, para permitir que el agua se evapore, la energía se extrae de la atmósfera, esto hace que la temperatura del aire del invernadero baje y que éste se humedezca [12].

Existen diversos sistemas de humidificación los cuales son utilizados con el fin de aumentar la humedad relativa de un espacio cerrado, los principales sistemas utilizados en la agronomía son:

- Humidificación del cultivo mediante baja presión/humidificación por goteo;
- Humidificación del aire mediante baja presión/sistema de neblina;
- Humidificación del aire mediante alta presión/sistema de pulverización
- Sistema pad & fan

Este sistema puede utilizarse en países con altas temperaturas y poca humedad del aire. Con este sistema, así como mediante la humidificación del aire exterior, el invernadero también se enfría.

Figura 8.11: Sistemas de humidificación



Fuente: [12].

8.6.5. Aspersión y nebulización de agua

Este sistema de climatización consiste en la expulsión de agua en forma de neblina, esto se logra mediante pulverizadores de agua que difunden gotas por todo el ambiente según sea el tamaño de las gotas, por encima o por debajo de los 200 μm . transformándolas en niebla fina, absorbiendo gran parte de la energía solar recibida, con lo que enfrían el ambiente este sistema no es muy eficiente para la reducción de elevadas temperaturas por lo que es conveniente combinarlo con una ventilación simple, además existe el riesgo que los equipos pulverizadores o nebulizadores los cuales cuentan con pequeños orificios, puedan obstruirse con mucha facilidad de obstruirse con las sales del agua u otras partículas [11].

8.7. Sistema de control

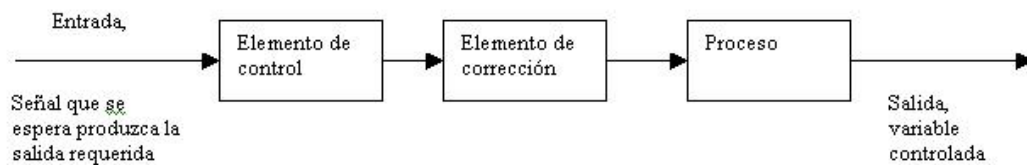
Un sistema de control es el conjunto de elementos que permiten la realización de una función específica, para lo cual cada elemento del sistema debe interactuar simultáneamente con otro, esta definición se detalla en la norma IEEE std C37 , se puede definir como “una interconexión de elementos que forman una configuración denominada sistema, de tal manera que el arreglo resultante es capaz de controlar se por sí mismo [13]. En otras palabras, un sistema de control es el vínculo de causa-efecto, creado al momento de ingresar una señal a manera de entrada para obtener una respuesta o salida. Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado

8.7.1. Sistema de control lazo abierto

Se define como lazo abierto aquel control donde la señal de salida no influye a la señal de entrada, es decir que son en cierta medida, independientes. Los elementos básicos que se utilizan en este tipo de control son básicamente un regulador o un actuador con la finalidad de obtener la respuesta que se desea determinar [14].

La característica de estos sistemas radica en que su exactitud depende en gran medida de la calibración del sistema, y consta de un elemento de entrada, un elemento de control y una salida principalmente. Para su representación se utilizan diagramas de bloques que permite describir la composición e interconexión de un sistema [15].

Figura 8.12: Diagrama de bloque de un sistema lazo abierto

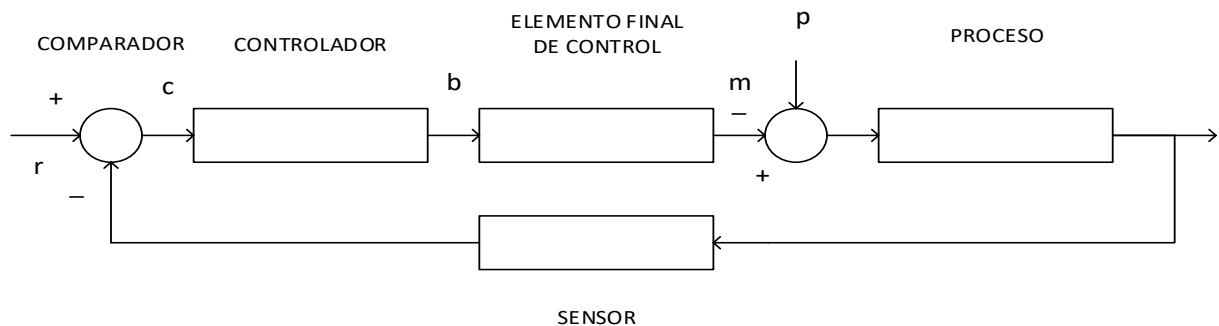


Fuente: [16].

8.7.2. Sistema de control lazo cerrado

El control lazo cerrado es un sistema cuya acción de control depende de la variable de salida, es decir es un sistema retroalimentado el cual compara mediante un sensor la señal de salida obtenida con la señal deseada, para aplicar las correcciones respectivas durante el proceso que se controla [13].

Figura 8.13: Diagrama de bloques de un sistema retroalimentado



Fuente: [13].

8.8 Tipos de control

8.8.1. Control ON – OFF

Es un dispositivo de control de dos posiciones para abrir o cerrar del todo, es decir, abierto/cerrado. Según [17], “En el modo de control de dos posiciones, el controlador es en esencia un interruptor activado por la señal de error y proporciona sólo una señal correctora tipo encendido-apagado”.

Este tipo de control se caracteriza por:

- Depende de un signo de error

- Es el control más rápido
- Su variable que se controla se repite cada cierto tiempo.
- Tiene un mecanismo simple por lo que es utilizado principalmente en control de temperatura.

8.8.2. Control Proporcional

“El modo de control proporcional (P) produce una acción de control que es proporcional al error” [17]. De manera más detallada un sistema de control proporcional actúa en base a la gravedad del error, si la magnitud del error va en aumento, la señal de corrección aumenta y de igual manera si la magnitud del error disminuye la señal del control disminuirá.

Sus características principales son:

- Provoca un error en el sistema.
- Acelera o disminuye el proceso de control a conveniencia.
- Es el control más estable de todos [14].

8.8.3. Control integral

El Control Integral produce una acción de control conforme a la integral del error en el tiempo. Entonces una señal de error constante producirá una señal de corrección creciente. La señal de corrección seguirá acrecentando mientras el error perdure. Se puede considerar que el control integral “mira hacia atrás”, suma todos los errores y responde a los cambios que ocurren [17].

Características:

- Su propósito es dejar en cero el error cuando el proceso es estable.
- Incrementa la medida de control y de error a niveles máximos.
- Sus respuestas son arrastradas y de largas oscilaciones.

8.8.4 Control batch

Como se encuentra estipulado en la norma ISA 88 el control batch el proceso de control por “lotes” es la ejecución de un programa sin el control o supervisión directa del usuario. Este tipo de programas se caracterizan porque su ejecución no precisa ningún tipo de interacción con el usuario.

8.9 Automatización

El término automatización se refiere a una amplia diversidad de sistemas y procesos que operan con mínima o sin intervención del ser humano, es decir a la capacidad que tiene una máquina o mecanismo para realizar tareas específicas sin depender de la mano de un operario.

En los más modernos sistemas de automatización, el control de las máquinas se realiza mediante sensores de control que les permiten distinguir cambios a sus alrededores de ciertas condiciones conocidas como variables, tales como: temperatura, volumen y fluidez de la corriente eléctrica y otros, los sensores le permiten a la máquina realizar los ajustes necesarios para poder compensar estos cambios [18].

8.9.1 Control automático

Se conoce como control automático al mantenimiento de un valor deseado al que se somete una variable en un rango o cantidad determinada, para obtener el control de la variable primero se mide el valor de entrada, mismo que es comparado con el valor deseado y se procede a realizar las acciones necesarias para controlar el valor y ajustarlo de manera adecuada. En consecuencia, este tipo de control se vincula firmemente con un lazo cerrado ya que lo que se trata de evitar es la intervención humana.

8.10 Componentes para el control automático de temperatura

8.10.1. Sensores

El sensor es un dispositivo que tiene la capacidad de detectar magnitudes físicas o químicas conocidas como variables de instrumentación para transformarlas en variables eléctricas, la intensidad de la señal producida corresponde a la cantidad o magnitud de la variable que se está midiendo. El término sensor está fuertemente ligado a al término transductor, el cual es un elemento que cuenta con la capacidad de experimentar un cambio al ser sometido a un cambio físico [17].

Para el presente trabajo investigativo es necesario determinar las variables involucradas en el proceso de automatización para el control automático, siendo como variable principal a controlar la temperatura.

Temperatura

Entre los principales se encuentran:

Termómetro bimetalico

Constituido por dos tiras metálicas que cuentan con diferentes coeficientes de dilatación que se unen a todo lo largo, es un elemento cuya composición es latón, monel o acero y una aleación de ferroníquel o Invar (35% de níquel) laminados conjuntamente, las láminas pueden ser rectas, curvas en espiral o hélices [19].

Cuenta con una exactitud típica del 1% y trabaja en el rango de -200 a 500°C su principal desventaja es que no pueden estar sometidos a elevadas temperaturas durante largos períodos de tiempo.

RTD

Son detectores de temperatura resistivos, puesto a que se basa en la variación de temperatura de un conductor y está constituido con materiales como al platino, cobre, níquel y molibdeno, al calentarse el metal se genera una dispersión de electrones lo cual aumenta su resistencia, es decir que a mayor temperatura existe mayor resistencia. Los RTD más comunes son los pt-100 y pt-1000.

- Pt-100: Sensor cuya característica es que a 0°C tiene una resistencia de 100 ohms y a medida que aumenta su temperatura, su resistencia se incrementa.
- Pt-1000: Sensor que a 0°C tiene una resistencia de 1000 ohms, y a medida que su temperatura aumenta, su resistencia se incrementa.

Termistores

Sensores cuyo funcionamiento se basa en la variación de la resistividad de un elemento semiconductor con la temperatura. Cuentan con un rango de media de entre -50 a 300°C, existen 2 tipos de termistores: NTC y PTC.

NTC: Por sus siglas en inglés (negative temperature coefficient), son dispositivos fabricados con óxidos de metálicos semiconductores que permiten el paso parcial de corriente. Su coeficiente de temperatura es elevado es decir que su conductividad crece rápidamente con la temperatura.

PTC: Son resistencias de coeficiente de temperatura positiva, cuyas temperaturas oscilan entre 60 a 180°C y utilizan fusibles de estado sólido de protección contra exceso de corriente.

Termopares/Termocuplas

Son sensores cuyo principio de funcionamiento se basa en el efecto Seebeck, (1821). “Se produce una fuerza electromotriz en la unión de dos metales diferentes proporcional a la temperatura”. Consiste en metales de distinto material unidos en su extremo en donde al aplicar calor se genera un voltaje en la escala de los milivolts en dicha unión [19].

8.11. Actuadores

Se define al actuador como un dispositivo que tiene la capacidad de transformar la energía hidráulica, neumática o eléctrica para la activación de un proceso y tiene por objetivo generar un efecto sobre el proceso automatizado. Para realizar este proceso el actuador recibe la orden de un regulador o un controlador para poder generar la orden que será enviada a un elemento de control, por ejemplo, una válvula.

8.12. Controlador

Un controlador es un componente del sistema de control, que detecta los desvíos existentes entre el valor medido por un sensor y el valor deseado o “set point”, programado por un operador; este emite una señal de corrección hacia el actuador. O elemento final de control. Un controlador es un bloque electrónico encargado de controlar uno o más procesos.

8.13. PLC- Controladores Lógicos Programables

Es un dispositivo electrónico digital, es una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas de configuración de secuencia, de sincronización, de conteo y aritméticas, para el control de maquinaria y procesos. El PLC es un sistema Industrial de Control Automático que trabaja bajo una secuencia almacenada en memoria, de instrucciones lógicas. También se puede decir que es realmente el cerebro que gestiona y controla automáticamente las instalaciones de alguna empresa moderna. Dependiendo del tamaño de la planta y de la complejidad de la automatización, el número de autómatas puede variar desde uno hasta un número importante de autómatas enlazados.

8.14. Software para programación de PLC

Para la realización de los comandos y acciones que realiza el controlador lógico programable, requiere de un software en el que se muestra un entorno de programación, se define como una aplicación modular a la cual se pueden agregar diversas funciones que permite la integración de más aplicaciones en un mismo interfaz, lo cual facilita y mejora el aprendizaje, el control, la operación y la ejecución de un sistema. En la actualidad existe una gran variedad de plataformas que permiten la programación de un controlador lógico, entre los cuales destacan los softwares

de las marcas de plc como Siemens con su respectivo software Tía Portal, Allen Bradley el cual utiliza RSlogix, entre otros.

Figura 8.14: Interfaz de programación, visualización y control para PLC



Fuente: [20].

8.15. Lenguaje de programación de un PLC

Los lenguajes de programación de PLC se pueden clasificar en dos clases, lenguajes de alto y bajo nivel cada uno con diferentes tipos. Así que el usuario tiene que seleccionar el lenguaje más adecuado para desarrollar la lógica de una aplicación específica [20].

El modelo de software y los lenguajes de programación de un PLC son tratados por la norma IEC 1131-3.

8.15.1. Lenguajes de alto nivel

- Lenguaje tipo Ladder
- Diagrama de bloques

8.15.2. Lenguajes de bajo nivel

En este tipo se encuentran los lenguajes de programación a través de texto, utilizando cadenas de caracteres para indicar las instrucciones de control.

8.16. Visualización

Para la visualización del proceso automático es necesario hacer uso de interfaces gráficas para que, de esta manera, las personas encargadas del manejo del equipo, maquina o encargados de mantenimiento, puedan realizar modificaciones e interactuar con el proceso en cuestión, esto con el fin de analizar en caso de fallos o mal funcionamiento de los mismos, o a su vez para el monitoreo o recepción de datos en tiempo real del proceso en general [21].

Para la visualización del proyecto es necesario la ejecución de un software HMI, su acrónimo se refiere a Human Machine Interface o Interfaz Hombre Máquina es el medio por el cual, un usuario puede comunicarse con una máquina o programa, y que abarca todos los puntos de contacto entre este y el equipo en cuestión. Los actuales HMI ofrecen modernas funciones de manejo y visualización, y como se utilizan en entornos industriales, tienen específicas características aplicadas a sus necesidades: robustez, estabilidad y simplicidad. Con interfaces abiertas y estandarizadas, tanto en software como en hardware, para así conseguir una integración eficiente en sistemas automatizados [22].

Figura 8.15: Ejemplo de HMI



Fuente: [23].

8.16.1. Funciones que realiza un HMI

- Monitoreo y supervisión, el HMI obtiene y muestra los datos que recoge de la planta en tiempo real, mostrándolos de diferentes maneras: cifras, textos o gráficos según se establezca, para facilitar su lectura e interpretación. Además, ofrece la posibilidad de aplicar los cambios necesarios en el mismo momento, desde dispositivos móviles o pc's, de manera remota mediante Webserver's integrados.
- Almacenamiento de históricos. Cuentan con la capacidad para almacenar y mostrar datos, por lo que es posible optimizar y corregir proceso en función de datos concretos y reales.
- Gráfico de Tendencia Histórica. Mostrar datos en un gráfico de fácil lectura. El cambio en los datos registrados a través del tiempo, se muestra en un gráfico de fácil comprensión.
- El cambio en los datos registrados a través del tiempo, se muestra en un gráfico de fácil comprensión.

- Alarmas y avisos. En función de unos límites pre establecidos, el HMI avisa y reporta información relativa a incidentes que puedan producirse en la planta de manera excepcional. Cuando se produce un error, el operador puede, fácilmente, buscar y comprobar el estado de la máquina.
- Conexión a múltiples dispositivos y maquinas, con distintos protocolos de comunicaciones, para flexibilizar la solución que el cliente necesita.
- En HMI avanzadas, se pueden utilizar como VPN para la interconexión con el PLC de la maquina o proceso [22].

9. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA

Mediante el diseño conceptual automático planteado, se controlará las variables de temperatura y humedad para obtener los rangos óptimos en el interior del invernadero.

10. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL:

En este apartado se especifica la manera en la que se desarrollan cada uno de los pasos para llevar a cabo el proceso de simulación del sistema de control automático de temperatura, se toman cuenta factores fundamentales como las condiciones iniciales del invernadero, la medición de la temperatura y humedad en tiempo real, se diseñó a su vez el diagrama de flujo en el cual se muestra todo el proceso del sistema, así como el método para la selección del software de programación y visualización para el correcto desarrollo del cultivo seleccionado.

Mediante la Investigación bibliográfica, se compiló la información necesaria, de libros y artículos científicos para determinar cada uno de los parámetros necesarios para nuestro diseño conceptual, además con la investigación de campo se realizó la visita in situ para obtener las medidas necesarias del invernadero.

Con el método científico permitió dar la solución a la inexistencia del control de temperatura y humedad en el invernadero, debido a la variación climática que existe en el sector, conjuntamente con el método inductivo se controló las variables necesarias para reducir el tiempo de productividad.

Con el cálculo permitió la obtención de los sensores y actuadores adecuados simultáneamente el comportamiento de la temperatura y la humedad en el interior del invernadero debido a la distribución del sistema hidropónico, complementando con la simulación en la cual nos permite validar el diseño conceptual.

Para la selección de materiales y software para el diseño conceptual se presenta la siguiente tabla:

Tabla 10.6: Criterios de selección

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES	Características técnicas
	Costo
	Popularidad en el mercado
	Facilidad para encontrar repuestos
	Estabilidad en el tiempo
CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL	Software
	Entorno principal
	Lenguaje de programación
	Soporte técnico
	Tipo de sistemas

10.1. Selección del sensor de temperatura

El sensor es una parte fundamental para el sistema automático de temperatura debido a que es el encargado de recibir la señal de la variable que ingresa a nuestro controlador para que posterior a la orden, el actuador logre mantener la temperatura en los valores deseados. La siguiente tabla muestra las características de algunos de los tipos de sensores más utilizados y fáciles de hallar en el mercado.

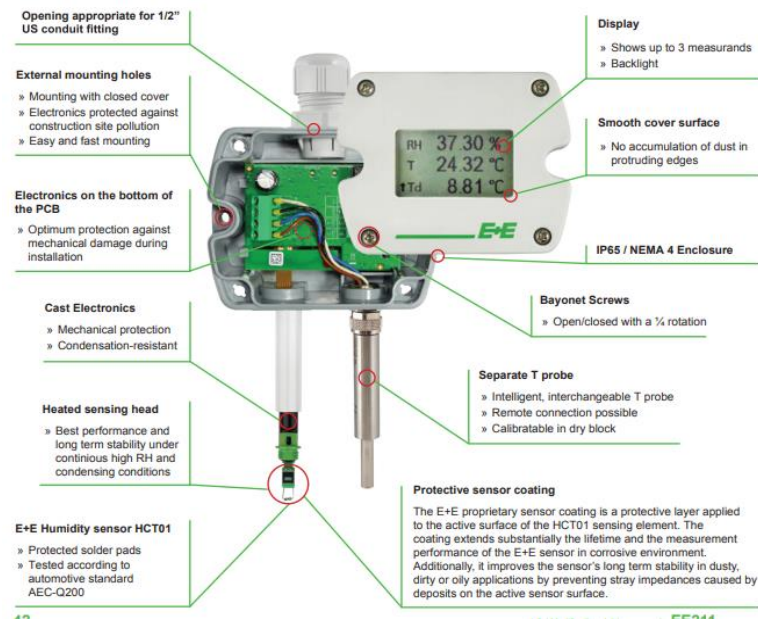
Tabla 10.7: Características de los sensores más utilizados.

Parámetros para la selección del sensor	Tipos de sensores		
	Termopar	RTD	Termistor
Rango de temperatura	-267 a 2315°C	240 a 648° C	100 a 260°C
Estabilidad en el tiempo	Deficiente/razonable	Bueno	Deficiente
Sensibilidad	Bajo	Mediano	Muy alto
Linealidad	Razonable	Bueno	Deficiente

Fuente: [24]

Hoy en día en el mercado existe una gran variedad de sensores que cumplen funciones simultáneas para obtener valores más precisos, se considera el uso del sensor EE211 ya que debido a su diseño cuenta con los parámetros requeridos para un buen control del clima dentro de espacios cerrados, el elemento cuenta con una sonda de humedad y una de temperatura, variables fundamentales para el control de un invernadero.

Figura 10.16: Sensor EE211

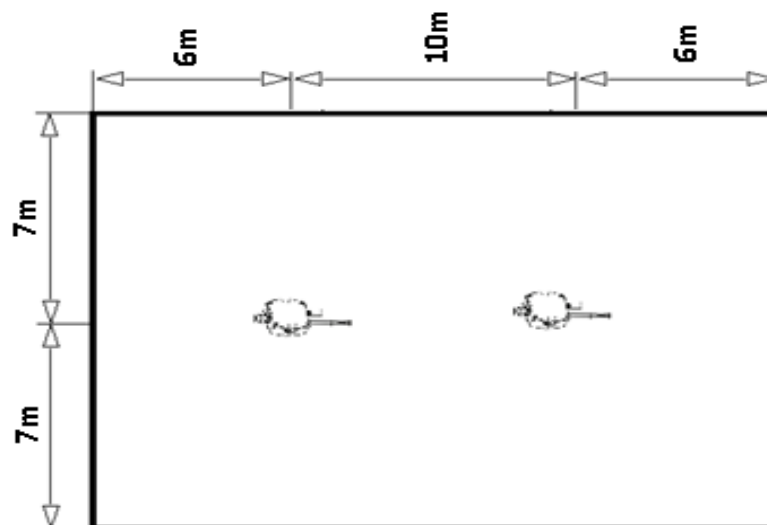


Fuente: [25].

10.1.1. Numero de sensores de temperatura

Para la elección del número de sensores que se necesitan se toma en cuenta la distancia, es aconsejable colocarlos a distancias entre 7 a 10 metros para una mayor eficiencia en la medición, haciendo mención la longitud del invernadero con un valor de 22 m por lo que tomando esta consideración se presentan las posibles distribuciones para los sensores en el interior del invernadero de la “Quinta Aguja de Oro”.

Figura 10.17: Distribución de sensores en el invernadero



10.2. Pérdidas energéticas

Como primer paso para obtener las pérdidas energéticas del invernadero se debe considerar los valores de temperatura existentes en el lugar, esto permitirá saber si es necesario o no la inclusión de un sistema de calefacción o utilizar otro método para evitar pérdidas. Se recomienda realizar el análisis considerando las temperaturas en invierno, si el invierno del lugar en el que se encuentra el invernadero no cuenta con temperaturas extremadamente bajas no se requiere de sistemas de calefacción artificiales [11].

Si las temperaturas invernales son muy bajas en comparación a la temperatura mínima del cultivo se debe compensar las pérdidas de calor que se producen principalmente a través de las paredes y la cubierta, en caso que el invernadero presente daños o aberturas la transferencia de calor son mayores, estas pérdidas, se proceden a calcular en base a la siguiente fórmula:

$$C = K * S * (t_i - t_e) \quad (10.1)$$

Donde:

C= kilocalorías/horas necesarias

K= Coeficiente de transmisión de cubierta

S= Superficie de la cubierta y paredes en m²

T_i-t_e= Incremento de temperatura en el interior respecto al exterior

El coeficiente de transmisión de calor depende del tipo de material utilizado en la construcción del invernadero de la Quinta.

Tabla 10.8: Coeficientes globales de pérdida de calor de materiales para cubierta.

MATERIAL	Kcal. Hora/C°
Vidrio sencillo	6,0 - 8,8
Doble vidrio, cámara de 9 mm.	4,2 - 5,2
Doble acrílico SDP 16	4,2 - 5,0
Triple acrílico S3P 32	3,0 - 3,5
Doble policarbonato, cámara 10 mm.	4,7 - 4,8
Doble policarbonato, cámara 16 mm.	4,2 - 5,0
Plástico	6,0 - 8,0
Doble plástico	4,2 - 6,0
Doble plástico IR opaco + cortina	2,5 - 3,0
Vidrio + cortina térmica de polietileno	6,4
Vidrio + cortina térmica de PVC	4,7
Vidrio + cortina térmica de EVA	5,1

Vidrio + cortina térmica de burbujas	4,9
Vidrio + cortina térmica de plástico, film no tejido	4,1 - -4,8
Vidrio + cortina térmica de doble plástico, burbujas	3,4 - 3,9
Vidrio + cortina térmica de film aluminizado y burbujas	3,2
Vidrio + cortina térmica de film aluminizado sencillo	3,4 - 3,9

Fuente: [26].

10.3. Ventilación

10.3.1. Caudal de aire requerido

El sistema de ventilación que se realizó en el diseño del invernadero consta de una parte natural y una parte mecánica, para proceder con su cálculo es necesario tomar en cuenta los caudales de aire que proporcionan estos dos métodos.

Debido a los invernaderos y las horas sometidas a la luz solar dentro de los mismos, el calor que se genera puede llegar a aumentar de una manera drástica, en forma cuantitativa se calcula alrededor del 40 o 50% superior a la temperatura del exterior, esto también depende de factores como el estado del invernadero y el número de renovaciones de aire que se realicen. Se sugieren renovaciones de 45 y 60 renovaciones/hora para asegurar una constante circulación de aire dentro del invernadero [27].

La ecuación para calcular el caudal que requiere el invernadero es la siguiente:

$$Q = V * N \quad (4. 2)$$

Donde:

Q= Caudal de aire necesario en m³/h

V= volumen del local en m³

N= Número de renovaciones de aire por hora

10.3.2. Ventilación natural

La ventilación natural se puede realizar a través de dos tipos de ventanas principalmente: lateral y cenital. Se recomienda para estructuras de más de 30 m la utilización de los dos tipos de ventanas para asegurar la correcta ventilación del interior del invernadero, el invernadero de la Quinta cuanta con 22 m de longitud por lo cual no se ve la necesidad de utilizar los 2 tipos de ventana, por lo que se consideró el uso de las ventanas laterales para el proceso de ventilación natural.

En caso de que la ventilación del invernadero dependa solo de la ventilación natural, se requiere que la longitud de la ventana sea toda la longitud del invernadero, pero si éste cuenta con un sistema de ventilación adicional se procede a calcular la relación de ventana en base a la superficie del suelo. Para tener ventilación suficiente, la superficie total de la ventilación natural debe ser del 15 al 25 % de la superficie del suelo. [26]

$$\frac{A_v}{A_s} = 0,15 \text{ a } 0,25 \quad (4.3)$$

Donde:

A_v = Área o superficie de ventilación natural en m^2

A_s = Área o superficie del suelo en m^2

Para el cálculo correspondiente a la ventilación natural se consideran dos maneras, la primera es reduciendo el número de renovaciones de aire en la ventilación mecánica o por otro lado se procede a calcular la ventilación en función del flujo de viento que pasa por una abertura, para determinar este valor se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = C_v * A_e * v \quad (4.4)$$

Donde:

Q = Caudal de ventilación en m^3/s

C_v = efectividad de las aberturas (de 0,5 a 0,6 para viento perpendicular y de 0,25 a 0,30 para viento diagonal)

A_e = Área libre de la abertura de entrada de viento m^2

v = velocidad del viento (m/s)

10.3.3. Ventilación mecánica

La ventilación natural permite la renovación del aire dentro del invernadero, pero considerando que la velocidad del viento no es constante, es necesario diseñar un sistema que permita mantener las variables en los valores que hacen de la estructura el lugar más óptimo para el desarrollo del cultivo.

Para determinar el número de ventiladores necesarios para el invernadero se toma en cuenta el equipo que se va a adquirir debido a que en su ficha técnica cuentan con un dato específico de caudal propio de cada ventilador. Para proceder con el cálculo se utiliza la siguiente ecuación.

$$N_{vent} = \frac{Q_{total}}{q_{vent}} \quad (4.5)$$

Donde:

N_{vent} = Número de ventiladores (adimensional)

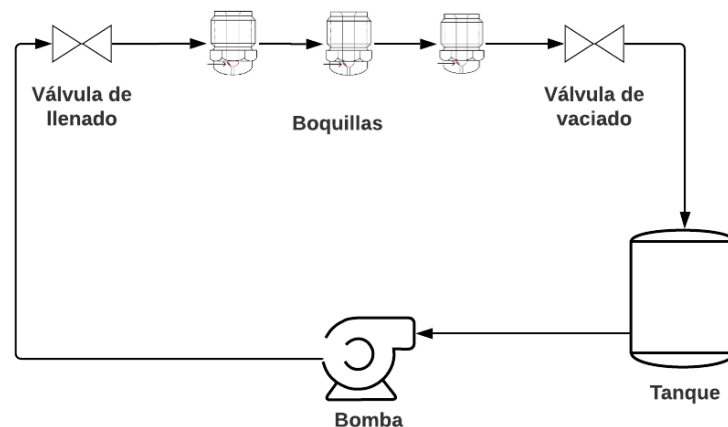
Q_{total} = Caudal de aire necesario en m^3/h

q_{vent} = Caudal del ventilador comprado en m^3/h

10.4.4. Humidificación

Para obtener la humedad relativa requerida por el cultivo se ha optado por un sistema de humidificaciones mediante el uso de nebulizadores distribuidos en la parte superior del invernadero, generalmente estos elementos suelen colocarse separados por una distancia de entre 8 a 10m.

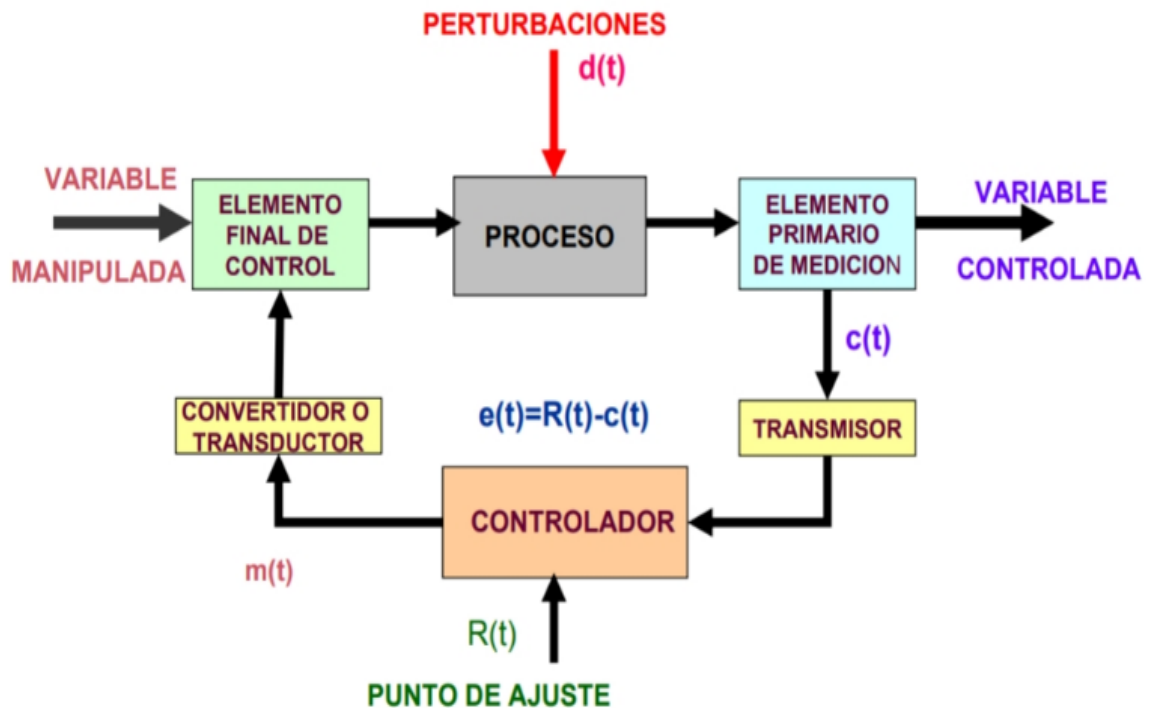
Figura 10.18: Esquema de distribución de válvulas y sistema de humidificación



10.5. Control del sistema

La ilustración muestra un sistema de lazo cerrado donde se controla la temperatura del interior del invernadero, cuando se encuentra en el nivel máximo permisible determinado por el sensor, éste envía una señal al controlador el mismo que determina el accionamiento de un ventilador, mientras que, si el sensor marca un valor por debajo del nivel requerido, enviará una señal para activar un calefactor, manteniendo así la temperatura ideal para el cultivo. Para la realización del diagrama se trabaja bajo la norma UNE-EN 60617-3 donde se detallan los símbolos gráficos para esquemas.

Figura 10.19: Control lazo cerrado del sistema a simular



Controlador: Control lógico programable PLC.

Elemento primario de medición: Sensor de temperatura

Elemento final de control: Actuadores

Proceso: Control de temperatura para cultivo de fresas.

Sensor: Pt1000, envía señales eléctricas hacia el controlador dependiendo la variación de temperatura

Control: Combinación del control ON-OFF cuya función se rige a la apertura y cerrado de contactos, después de la automatización, el operador tiene una participación casi nula durante el proceso de control automático.

10.6. Controlador lógico programable (PLC)

Para seleccionar de mejor manera el PLC se presenta la siguiente tabla comparativa entre controladores programables que más relación guardan con los parámetros que requiere el sistema de control de temperatura para el invernadero, se toma en cuenta a su vez los equipos más utilizados en la industria [28].

Tabla 10.9: Características de los PLC'S encontrados en el mercado

CRITERIOS	PLC		
	SIEMENS	ALLEN BRADLEY	ABB
Lenguajes de programación	Escalera (KOP), Booleana (FUP), Lista de funciones (AWL), Structured Control Lenguaje (SCL)	Escalera, uniones de bloque, Texto estructurado	Líneas de texto, C++, bloques. Ladder
Costo	MEDIO-ALTO	ALTO	MEDIO-ALTO
Popularidad en el mercado	99%	54%	49,80%
Software	Step 7 Tía Portal, LogoSoft Comfort, MicroWINN, Simatic manager.	Workbench, RS Logix 5, RS Logix 500, RS Logix 5000, Studio 5000Logix Designer.	Automatic Builder, AC010, AC500.
PLC Sistemas Compactos	LOGO, S7-200, S7- 1200	Micro800, Micrologix, CompactLogix	
Soporte técnico	Soporte técnico estándar sin cargo adicional	Costo adicional por soporte técnico según la cantidad del hardware	Costo adicional por soporte técnico

Fuente: [29].

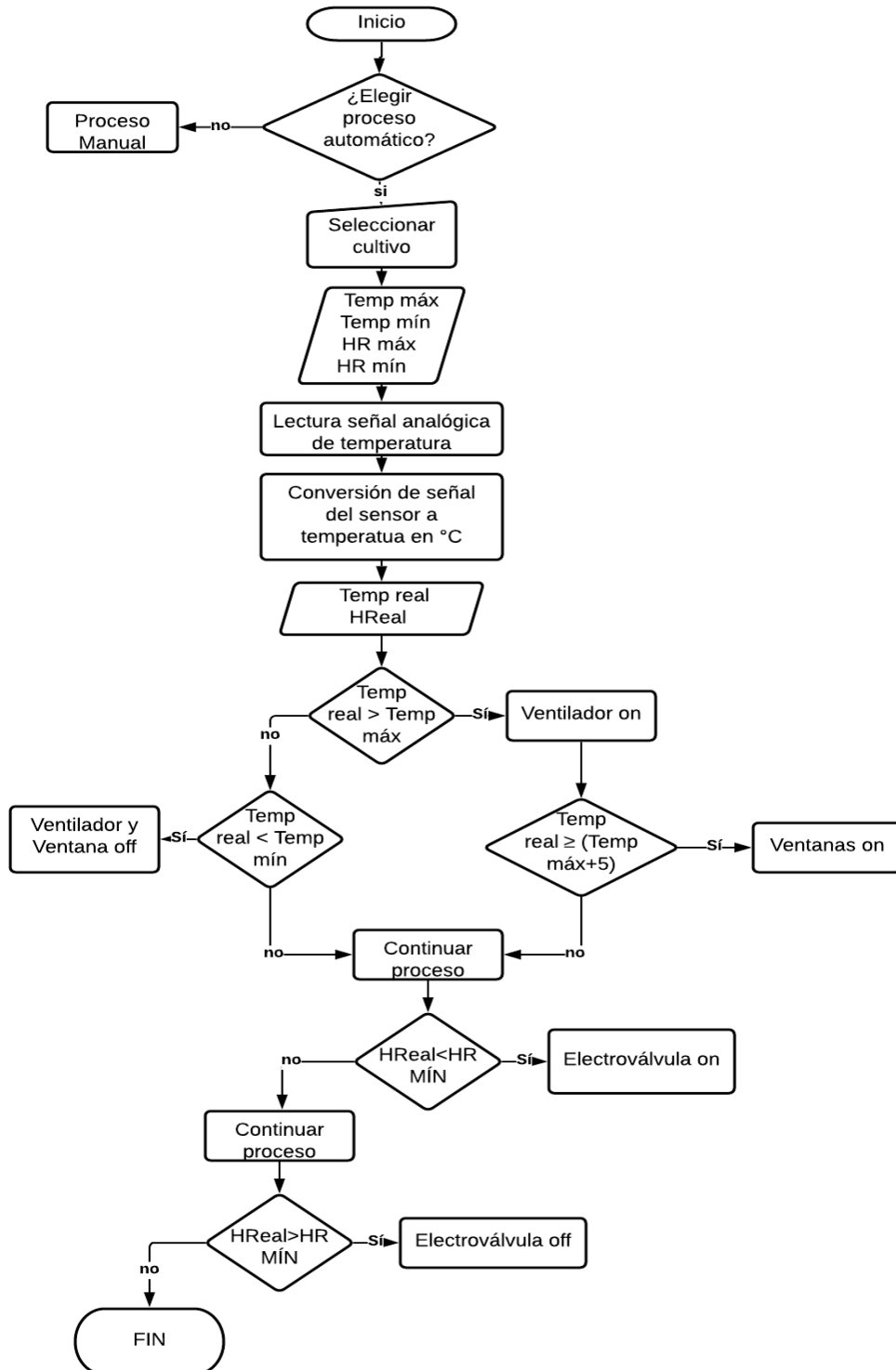
La tabla que se presenta a continuación es fundamental para determinar el software y el controlador lógico programable que se utilizó, se muestra las variables necesarias por el sistema de control automático de temperatura en la “Quinta Aguja de Oro”.

Tabla 10.10: Parámetros para la selección del PLC en base a sus variables

PLC				
Entradas	Digitales	4	Analógicas	2
	Encendido Apagado 1 pulsador de emergencia Selector de dos pasos		Sensor EE211 (Temperatura y humedad)	
salidas	Digitales	1	Analógicas	3
	Alarmas		Ventilador/Estractor Motorreductor Electroválvula	

10.7. Estructura del diagrama de flujo

Figura 10.20: Diagrama de flujo



10.8. Desarrollo de la programación en Tía Portal

Para realizar la programación se deben tomar en cuenta todas las variables

Tabla 10.11: Datos de entrada para la programación

Entradas	Tipo de dato	nombre
%IW20	Int	INDICE
%IW64	Int	SENSOR_TEMP 1
%IW66	Int	SENSOR_TEMP 2
%IW70	Int	SLIDER1
%IW74	Int	SLIDER2
%IW78	Int	SLIDER3
%IW82	Int	SLIDER4

Tabla 10.12: Datos de salida para la programación

Salidas	Tipo de dato	Nombre
%Q0.0	Bool	LUZ_PARO
%Q0.1	Bool	VENTANAS
%Q0.2	Bool	VENTILADOR 1
%Q0.3	Bool	BOMBA
%Q0.4	Bool	ELECTROVALVULA
%Q0.5	Bool	VENTILADOR 2

Tabla 10.13: Marcas utilizadas para la programación

marcas	Tipo de dato	Nombre
%M0.0	Bool	0N/OFF 1
%M0.1	Bool	0N/OFF 2
%M0.2	Bool	ON/OFF B
%M0.3	Bool	ON/OFF 4
%M0.4	Bool	ON/OFF 3
%M0.5	Bool	RESET
%M0.6	Bool	Tag_9
%M0.7	Bool	Tag_10
%M1.0	Bool	TUBERIA
%M1.1	Bool	CREAR
%M1.2	Bool	GUARDAR
%M1.3	Bool	IND_CREADO
%M1.4	Bool	IND_VELOC
%M1.5	Bool	Tag_12
%M0.7	Bool	Tag_13
%M1.0	Bool	Tag_14
%M1.1	Bool	Tag_16
%M1.2	Bool	Tag_20

%M1.3	Bool	auxi9
%M1.4	Bool	auxi10
%M1.5	Bool	PARO_HMI
%M1.6	Bool	AUTOMATICO_HMI
%M1.7	Bool	Tag_15
%M2.0	Bool	ACT_VENT1
%M2.1	Bool	MOV_VENT1
%M3.0	Bool	ALARMA1
%M3.1	Bool	ALARMA2
%M3.2	Bool	Tag_19
%M3.5	Bool	VENT
%M3.6	Bool	VENTILA1
%M4.0	Bool	VENTILA2
%M4.1	Bool	BOMB
%M5.0	Bool	ELECTRO
%M5.1	Bool	Tag_1
%M5.2	Bool	Tag_5
%M6.0	Bool	Tag_6
%M6.1	Bool	Tag_7
%M6.2	Bool	Tag_8
%M6.3	Real	Tag_18
%M6.4	Real	SET_TEMP-MAX
%M7.0	Real	SET_TEMP-MIN
%M7.1	Real	TMIN
%M7.2	Real	TMAX
%M7.3	Real	HMIN
%M7.4	Real	HMAX
%MD12	Real	SET_HUM_MIN
%MD18	Real	SENSOR 1
%MD22	Real	SET_HUM_MAX
%MD30	Real	SENSOR 2
%MD34	Real	TEMP 2
%MD38	Real	DT1
%MD42	Real	DT2
%MD46	Real	HUM1
%MD50	Real	TEMP 1
%MD54	Word	Tag_2
%MD60	Real	HUM2
%MD64	Real	HUMEDAD1
%MD70	Real	HUMEDAD2
%MD74	Real	Tag_3
%MD76	Real	Tag_4
%MD80	Real	Tag_11
%MW80	Real	Tag_21
%MD84	Real	Tag_17

%MD90	Real	Tag_22
%MD94	Real	ON/OFF 1
%MD100	Real	ON/OFF 2
%MD104	Real	ON/OFF B
%MD108	Real	ON/OFF 4
%MD110	Real	ON/OFF 3
%MD112	Real	RESET
%MD114	Real	Tag_9

10.9. Programación

Las ventajas de este lenguaje de programación gráfico, es que es muy popular entre programadores pues los símbolos están normalizados, es decir, presenta esquemas eléctricos de control básicos. Además de esto, tiene un método de funcionalidad sistemático y por último que está disponible en todos los controladores lógicos programables. En cuanto a desventajas, es que para poder realizar alguna modificación en la programación realizada hay que tener conocimiento de todo el programa que se ha desarrollado, pues cambiando un detalle, puede generarse cambios en varias partes y esto se complica, ya que no muestra algún tipo de secuencia en el trabajo que se ha venido realizando.

10.10. Visualización del control de temperatura automático

Gracias a su interfaz TIA Portal, las HMI Siemens presentan una capacidad de diversos tipos de paneles. Estos paneles están diseñados para dar solución a diversos entornos de trabajo, incluyendo una opción de movilidad in situ. Una conexión PLC a las pantallas HMI Siemens es posiblemente lo más natural y sencillo en el entorno la facilidad de utilizar esta aplicación es la ventaja de visualizar diversos procesos que pueden realizar, como metodología es necesario entender los beneficios que esto presenta al momento de realizar simulaciones

10.11. Tiempo de recuperación de la inversión

Para el posterior análisis sobre el tiempo de recuperación de la inversión, es necesario conocer cuánto se invierte durante el proceso de cultivo, la producción de fresas se divide en diversas etapas hasta obtener el producto final, principalmente se divide en dos etapas las cuales son, la etapa de crecimiento y la etapa de cosecha. el proyecto se basa en el control de la temperatura y humedad esto causara un efecto beneficioso.

Tabla 10.14: Etapas de producción de la fresa

REQUERIMIENTOS PARA DETERMINAR LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN POR FASES	
ETAPAS	UNIDAD DE MEDIDA
FASE DE PREPARACIÓN DEL TERRENO Y SIEMBRA	
Abono de Gallinaza	Camiones
Alquiler de tractor	Horas
Compuestos químicos	Kilos
Micro elementos	Kilos
Planta de fresas	C/U
Plástico para impermeabilidad del suelo	C/U
Jornales siembre y preparación de suelo	C/U
FASE DE CRECIMIENTO	
Enraizador	Cm ³ (Fascos)
Abono de desarrollo	Kilos
Fungicidas	Cm ³ (Fascos)
Insecticidas	Cm ³ (Fascos)
Jornales para control sanitario	C/U
Alambres	Rollos
FASE DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO	
Jornales de control sanitario	C/U
Agro calcio-boro	Cm ³ (Fascos)
K-producción	Cm ³ (Fascos)
Bio-suelo	Cm ³ (Fascos)
Protector	Cm ³ (Fascos)
Curagro	Cm ³ (Fascos)

Fuente: [30].

Una vez que se conoce el costo de la producción se puede estimar las pérdidas económicas en caso de que el cultivo llegue a dañarse, es muy común que esto llegue a suceder en lugares por lo que se considera una vez al año debido al invierno.

Considerando que el proyecto de investigación se centra en la simulación, los datos de las pérdidas fueron tomados en base a los criterios del dueño de la Quinta y en base a estudios realizados para la determinación de costos de producción en dólares del mercado actual [31].

Por otro lado, una vez implementado el sistema de control automático se procede a calcular la producción obtenida dentro del invernadero, pues al contar con las condiciones más favorables para la siembra y cosecha de las fresas el aumento de producción pasa a ser un ingreso económico para la Quinta. Para ello se toma en cuenta la cantidad de fresas obtenidas y el valor de la misma en el mercado. Según los datos obtenidos por el Instituto Nacional de Innovación

Agraria se conoce que la fresa comercial puede proporcionar hasta 1800g de fruta por cada planta anualmente, y tomando en cuenta que el peso medio del producto individualmente está entre los 20 a 50g se puede determinar el número de fresas obtenidas en óptimas condiciones mediante la siguiente ecuación.

$$Fresas = \frac{g/planta}{g/fresa} \quad (10.6)$$

Finalmente, para conocer el tiempo de recuperación de la inversión en el sistema se plantea la siguiente ecuación.

$$Años = \frac{Ct}{Ga} \quad (10.7)$$

Donde:

Año= Número de años necesarios para recuperar la inversión.

Ct= Costo total de inversión de la producción e inversión del sistema.

Ga= Ganancias anuales por venta del producto.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:

En esta sección de la investigación se describe los resultados de los procesos efectuados para la simulación respectiva control automático de temperatura en el invernadero de la “Quinta Aguja de Oro”. Se detalla a su vez las condiciones iniciales en las que se encuentra el invernadero debido a que son elementos fundamentales para el control de las variables, se muestra a su vez los caudales necesarios en base al volumen del invernadero y se definirán el número exacto de actuadores necesarios para el sistema. La base del proyecto de investigación es la simulación por lo que todos los cálculos obtenidos se orientarán a ello, finalmente se revela paso a paso la programación respectiva para el funcionamiento y se visualizará mediante la interfaz gráfica del software.

11.1. Condiciones iniciales del invernadero

Se debe tomar en cuenta que la “Quinta Aguja de Oro” cuenta con el invernadero, mismo que ha sido utilizado para realizar el control automático de temperatura, es fundamental conocer el tipo y las dimensiones del invernadero para proceder con la selección de la cantidad de sensores y actuadores necesarios para el proceso de climatización del lugar.

Tabla 11.15: Condiciones de temperatura y humedad en el invernadero

QUINTA AGUJA DE ORO										
fecha	año	T- min	Tma x	T- prom	T-in- min	T-in- max	T – pro	V-min	V- max	V – Pro
AGOSTO	2019	4,69	19,69	12,19	10,29	29,69	19,99	4,10	11,30	7,70
SEPTIEMBRE	2019	5,69	20,69	13,19	11,69	30,69	21,19	0,09	10,80	5,45
OCTUBRE	2019	4,99	19,19	12,09	10,99	29,99	20,49	0,14	10,80	5,47
NOVIEMBRE	2019	5,12	19,62	12,37	11,12	30,12	20,62	2,30	9,50	5,90
DICIEMBRE	2019	4,42	17,42	10,92	10,42	29,42	19,92	1,20	9,10	5,15
ENERO	2020	4,42	18,42	11,42	11,42	30,42	20,92	1,50	9,20	5,35
FEBRERO	2020	4,69	17,69	11,19	10,69	27,69	19,19	0,10	10,60	5,35
MARZO	2020	4,68	20,68	12,68	12,68	31,68	22,18	0,20	9,90	5,05

Los parámetros iniciales se resumen en la siguiente tabla con el objetivo de obtener los datos necesarios para los cálculos posteriores a realizar para la selección de los ventiladores y calefactores en caso de optar por la instalación del sistema.

Tabla 11.16: Datos del invernadero

PARÁMETROS	VALOR
Tipo de invernadero	Asimétrico
Largo	22 m
Ancho	14 m
Alto	3 – 4.5m
Número de camas del invernadero	12
Dimensiones de la cama	0,7 m x 20 m
Separación entre camas	0.5 m
Temperatura exterior máxima considerada	30°C
Temperatura exterior mínima considerada	3°C
Temperatura interior máxima considerada	20°C
Temperatura interior mínima considerada	15°C

11.2. Cálculo de energía calorífica

En un invernadero es improbable que se lleguen a producir heladas por descenso de la temperatura es por esa razón que se considera la utilización de plástico sobre las camas del invernadero para aumentar la energía calorífica del terreno, evitando así gastos en equipos de calefacción que por lo general son costosos. Se recomienda plástico transparente para aumentar

la temperatura y humedad relativa del suelo en un 30% aproximadamente, además se evita la evaporización de agua de la superficie del mismo.

Guiándose en modelos de invernaderos anteriores se puede determinar que la calefacción artificial solamente se recomienda en zonas cuyas temperaturas invernales son especialmente muy bajas o en cultivos especiales, considerando que el clima de la “Quinta Aguja de Oro” no posee invierno temperaturas extremadamente bajas, se concluye que un sistema de calefacción no es necesario, por lo que no es pertinente la utilización de ningún calculo correspondiente.

11.3. Caudal de aire requerido

El aire dentro del invernadero requiere de renovaciones para mantener una circulación uniforme, esto permite la reducción del riesgo de enfermedades en los cultivos y daños ocasionados por la falta de aire. Para determinar el caudal que necesita el invernadero se aplicara la fórmula 4.2 descrita en el capítulo 4.

Tabla 11.17: Caudal de aire requerido por el invernadero

DATOS	VALOR	UNIDAD
Volumen Del Invernadero	1155	m ³
Renovaciones	60	ren/hora
Caudal De Extracción	69300	m ³ /hora

11.4. Ventilación natural

Con la obtención del caudal requerido por el invernadero se procede a calcular el área de las ventanas necesarias para la ventilación natural, para ello se aplica la ecuación 4.4 que permite determinar la superficie en metros cuadrados en la cual se aplica el mecanismo automático para abrir y cerrar las ventanas dependiendo de la temperatura del invernadero.

Tabla 11.18: Cálculo del área de por ventana

DATOS	VALOR	UNIDAD
Caudal de ventilación	19,25	m ³ /s
Cv	0,25	Adimensional
V	3	m/s
Ae	25,67	m ²
Área redondeada	26	m ²

Para asegurar que la ventilación natural es óptima se procede a utilizar la ecuación 4.3 la cual muestra la relación del área de la ventana con la superficie del suelo o terreno del invernadero, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 11.19: Relación de área total de ventilación con la superficie

DATOS	VALOR	UNIDAD
Área de ventana	26	m ²
Número de ventanas	2	Unidad
Área del suelo	308	m ²
Resultado	0,17	Adimensional
Valor porcentual	17 %	Porcentaje

Como se detalla en el capítulo anterior para mantener una buena eficiencia en ventilación natural el valor de la relación entre la ventana y el suelo debe permanecer en un rango de 0,15 a 0,25, como se evidencia en el cálculo el área calculada muestra una relación de 0,17 entrando en los parámetros indicados.

Para finalizar el análisis se considera que para una mayor estabilidad es aconsejable no utilizar toda la longitud del invernadero, mientras se cumpla el área determinada se puede colocar medidas aleatorias del ancho y largo de las ventanas. Para el invernadero se eligió ventanas de las siguientes dimensiones.

Tabla 11.20: Dimensiones de la ventana

DATOS	VALOR	UNIDAD
Ancho	1,3	m
Largo	20	m
TOTAL	26	m ²

11.5. Ventilación forzada

Aplicando la fórmula 4.5 se determina el número de ventiladores necesarios para renovar el aire dentro del invernadero. Para ello se utilizaron ventiladores y extractores del mismo caudal por facilidad de cálculo. [32]

Tabla 11.21: Cálculo del número de ventiladores

DATOS	VALOR	UNIDAD
Caudal Requerido	69300	m ³ /hora
Caudal Del Actuador	44174	m ³ /hora
Resultado	1,57	Unidad
Número De Actuadores	2	Unidad

Como se puede observar se ha obtenido un valor de 1,57 para asegurar la correcta circulación del aire el valor se aproximó a dos ventiladores extractores, mismo que están distribuidos uno frente al otro en las paredes frontales del invernadero.

11.6. Sistema de nebulización

El sistema de nebulización que el proyecto de investigación se realiza para el control de humedad relativa requerida por el cultivo la cual se encuentra en el rango de 60 a 80%, el sistema consiste en la lectura de la señal que envía el sensor utilizado, al detectar que la humedad relativa es inferior al rango necesario, activa los nebulizadores hasta llegar al valor necesario enviando la señal para cerrar la electroválvula y detener el sistema.

El sistema descrito en el proyecto consta de 3 nebulizadores con 4 boquillas de alta presión que distribuyen gotas de agua extremadamente finas a lo largo de todo el invernadero. Se recomienda un caudal de agua evaporada de 5 lt/h.

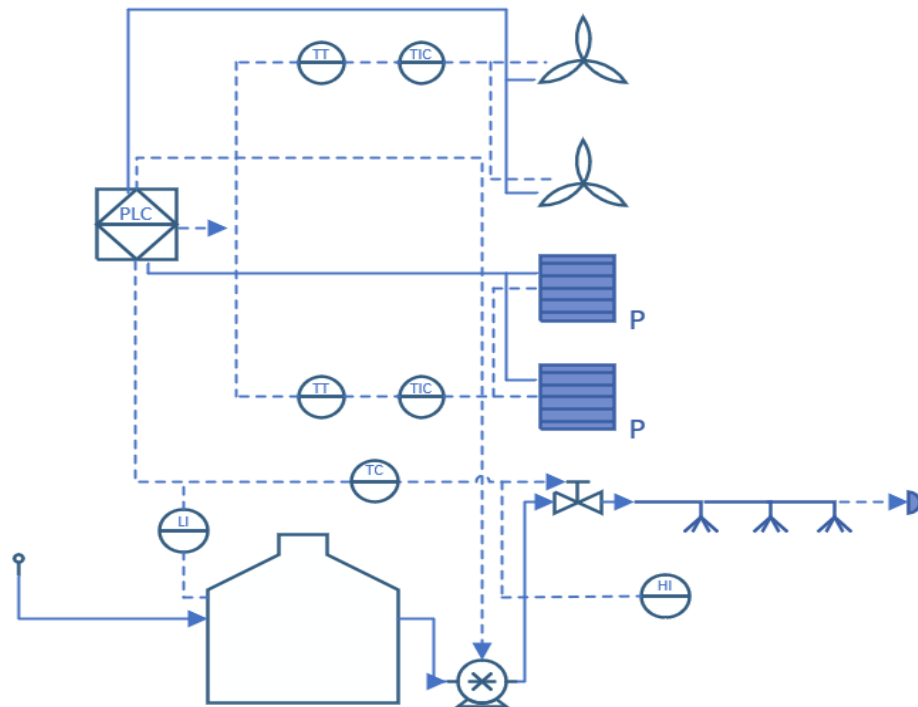
Tabla 11.22: Caudal del sistema de nebulización

DATOS	VALOR	UNIDAD
Caudal de nebulizador	5	lt/h
Número de nebulizadores	3	Unidad
Número de boquillas	4	Unidad
Valor requerido	60	lt/h

11.7. Análisis de resultados del sistema de control automático de temperatura

11.7.1. Diagrama PI&D del sistema

Figura 11.21: Diagrama p&id del sistema

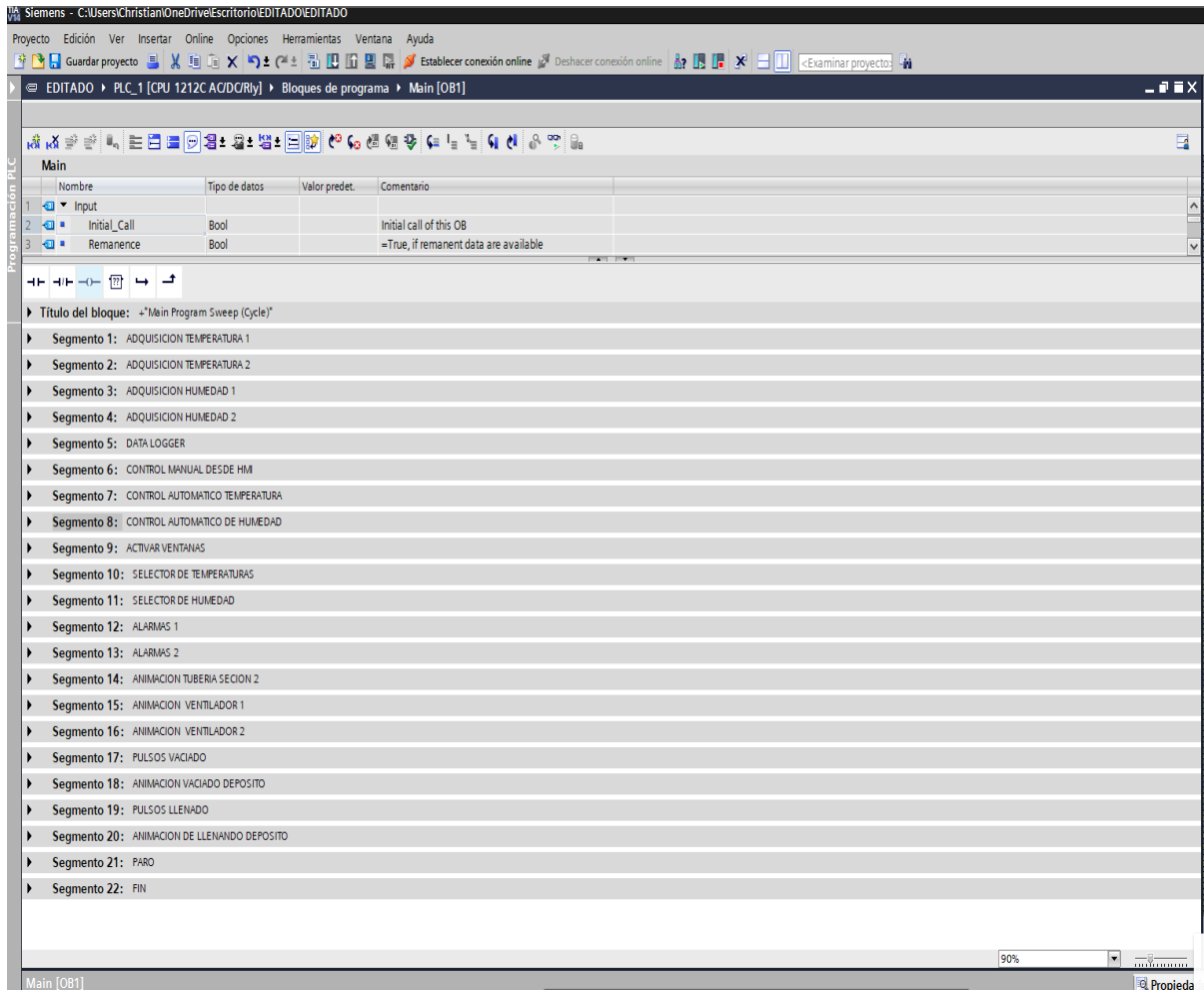


11.7.2. Elección del software

Para la programación del control automático de temperatura se ha elegido el software en base a la tabla 4.4 en la que se detallan las características de diversos plc, llegando a la conclusión que la opción más factible es utilizar el PLC SIEMENS S7-1200 CPU con su respectivo software Tía Portal debido a que cuenta con una interfaz bastante completa tanto para programación como para visualización, se considera también su popularidad y facilidad de adquisición en el mercado nacional. Dentro del software Tía portal se ha elegido el plc 1212C AC/DC/RELAY en base a la tabla 4.5 que señala las variables necesarias para el sistema, el equipo seleccionado cumple con los parámetros requeridos para la automatización del invernadero.

11.7.3. Programación

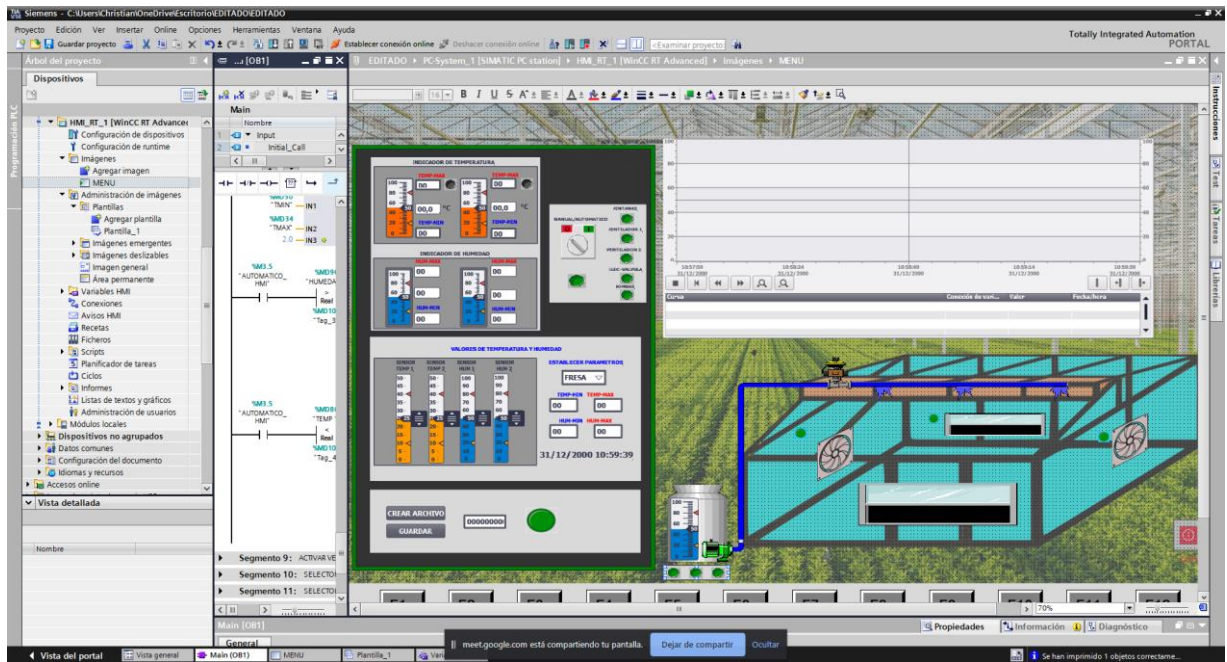
Figura 11.22: Entorno TIA Portal líneas de segmentos



La programación consta de 22 segmentos divididos en diferentes procesos, los cuales están detallados en la **Figura 11.22**. el sistema está programado en dos maneras, consta de la parte manual y la parte automática, es un sistema on/off con condiciones programadas para cumplir las condiciones necesarias antes estudiadas, la programación completa se encuentra en el **anexo C**.

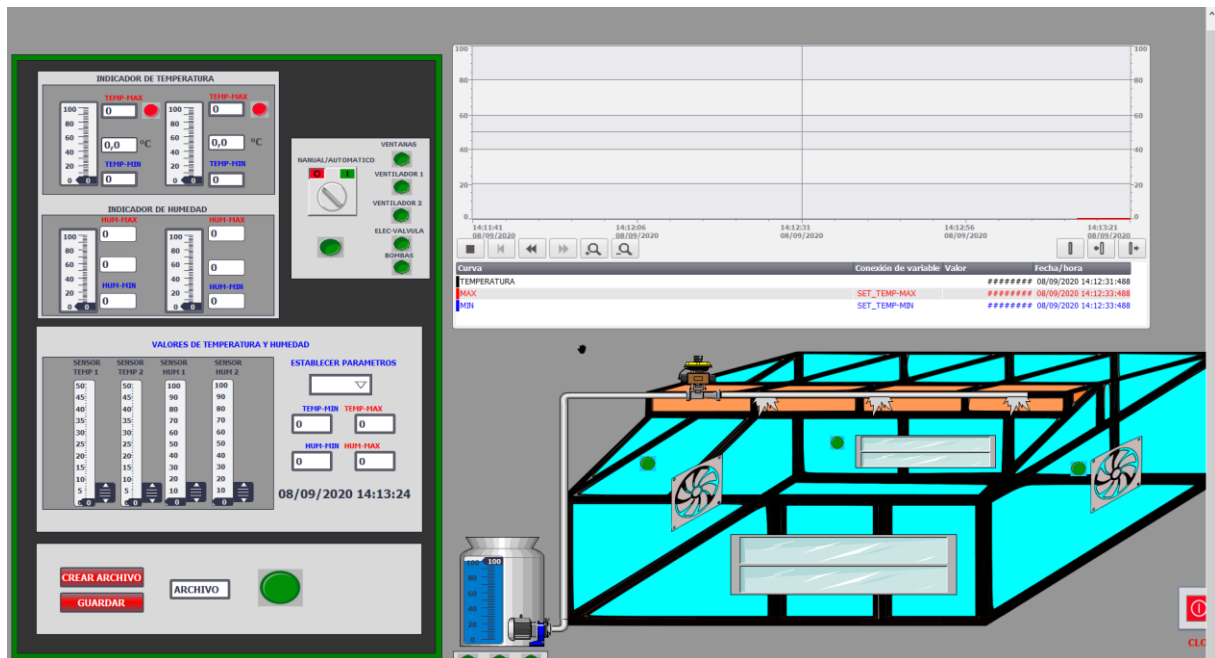
11.7.4. Visualización

Figura 11.23: Ventana de inicio



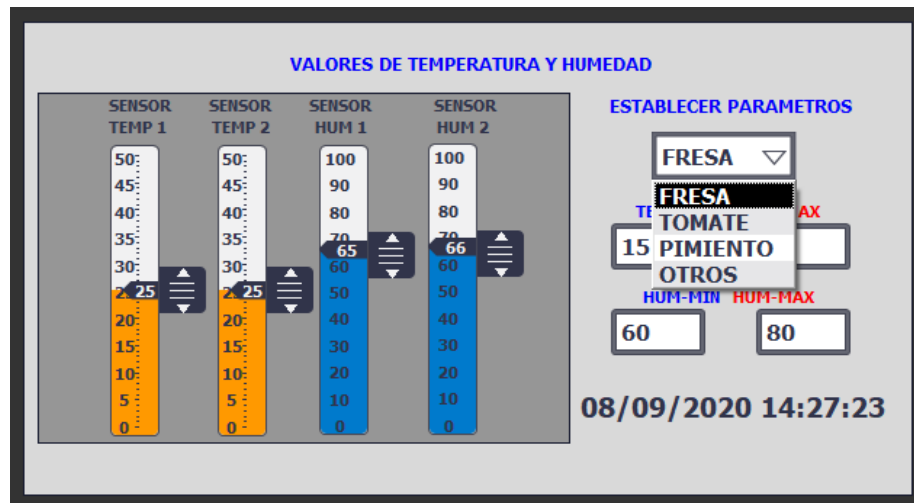
Entorno de simulación de la aplicación de Siemens en el programa de visualización de Win cc

Figura 11.24: Visualización de Win CC



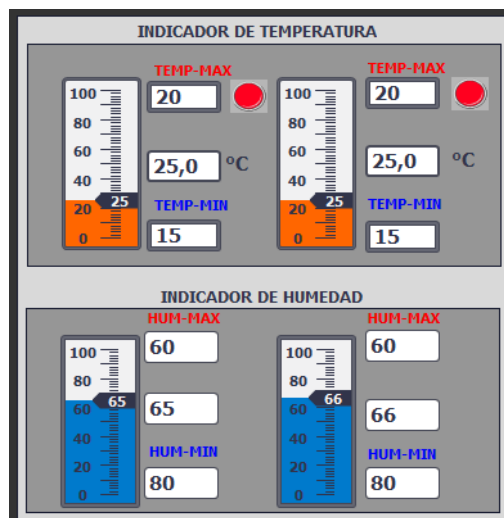
Programa de visualización de Win cc, entorno sin condiciones programadas, en la selección de parámetros por defecto se encuentra la fresa como producto para la simulación del programa.

Figura 11.25: Valores de temperatura y humedad



En esta parte se puede visualizar y simular el valor de los sensores de temperatura y humedad, en el apartado “establecer parámetros” se puede elegir productos enlistados, en la parte de otros se puede ingresar los valores manualmente si se desea cambiar de producto.

Figura 11.26: Indicador de temperatura y humedad



Este visualizador permite conocer las condiciones con las cuales se encuentra el invernadero, existen dos indicadores dos de temperatura y dos de humedad, varían en función de las condiciones que varían en la figura 11.24.

Figura 11.27: Selector de funcionamiento del invernadero



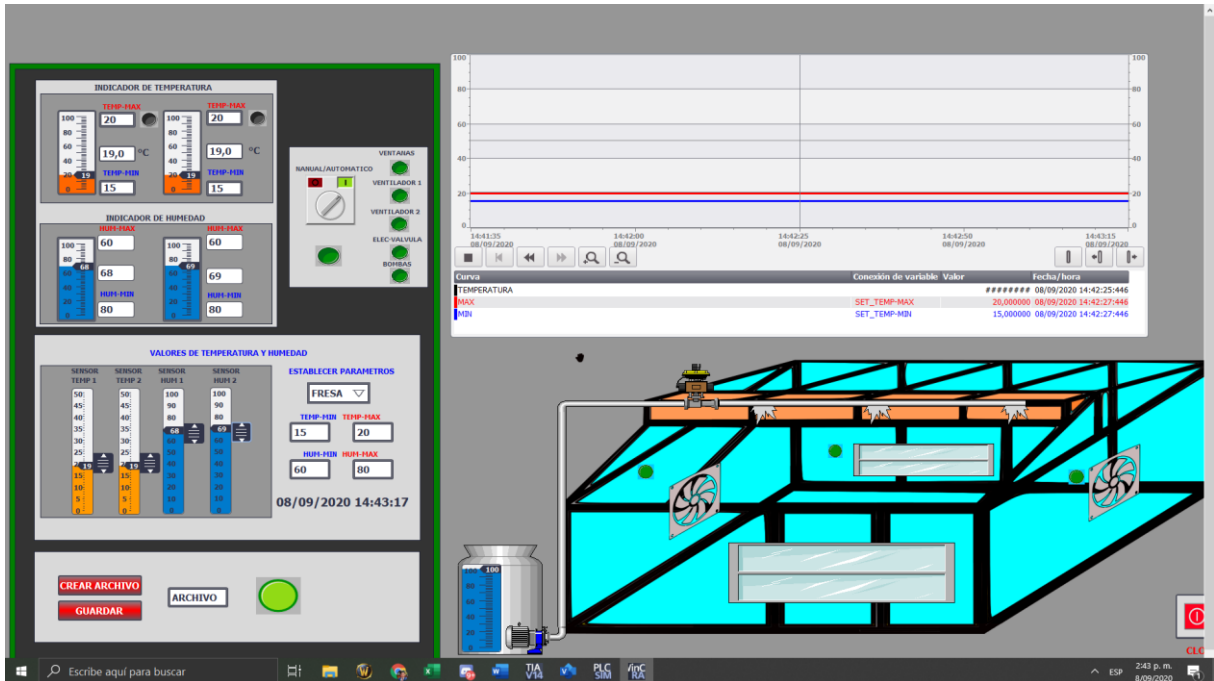
En la imagen se observa el selector con el cual se puede cambiar de modo manual a modo automático en el invernadero, el modo manual permite la interacción directa de los actuadores con el ser humano, en el modo automático el invernadero se encarga de tomar decisiones de acuerdo a las condiciones preestablecidas o las condiciones programadas al momento de seleccionar el parámetro como lo indica la figura 11.24.

Figura 11.28: generador de archivo en Excel



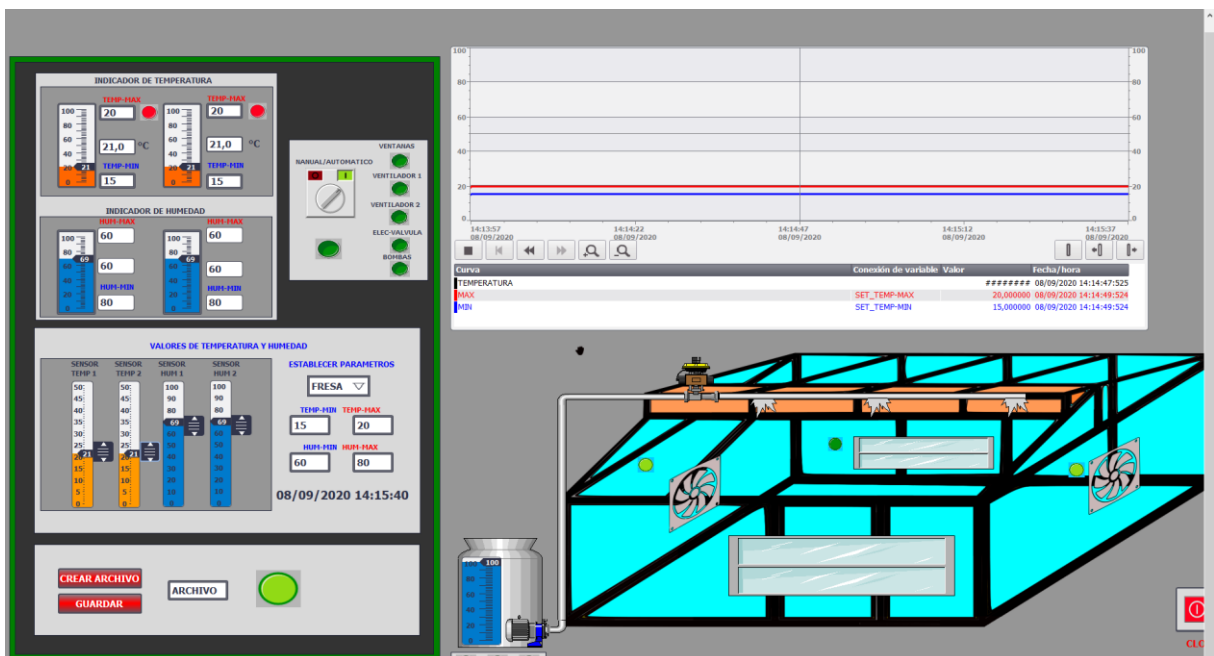
Permite generar un archivo y guardar para dar seguimiento al comportamiento de los datos adquiridos por los sensores instalados en el invernadero, los datos guardados son determinados por la variación de los sensores o el indicador de la figura 11.24.

Figura 11.29: Condiciones normales del invernadero



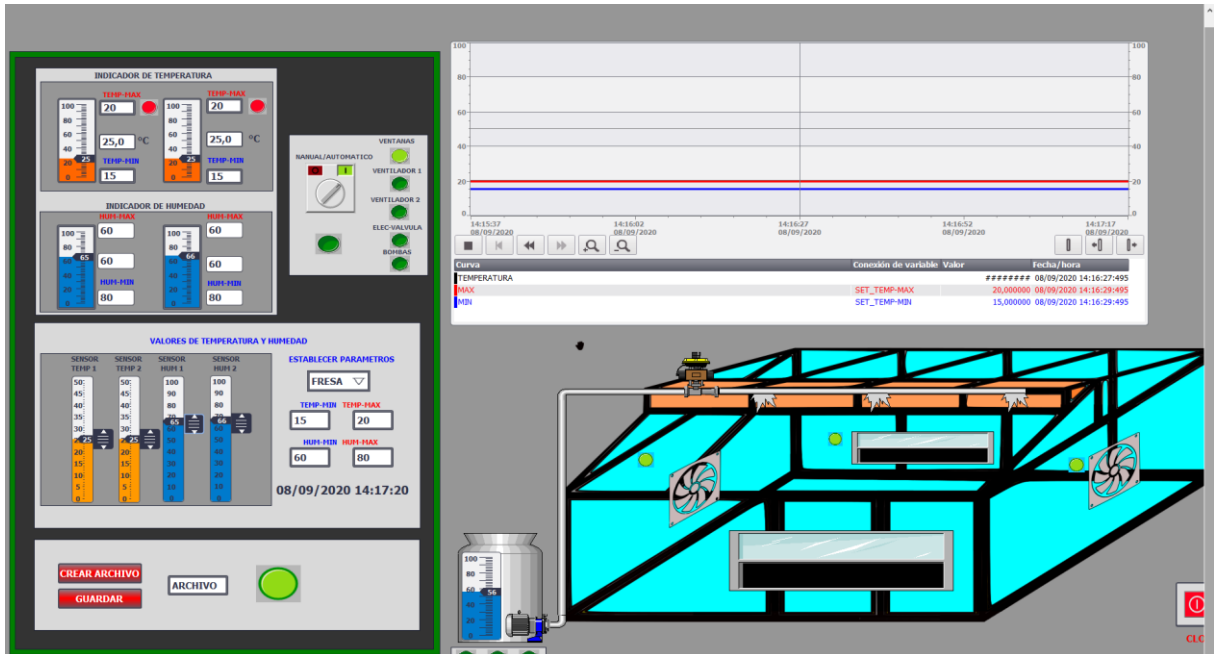
El invernadero permanece estático por cumplir las condiciones necesarias, hasta cambiar las condiciones.

Figura 11.30: Temperatura máxima superada



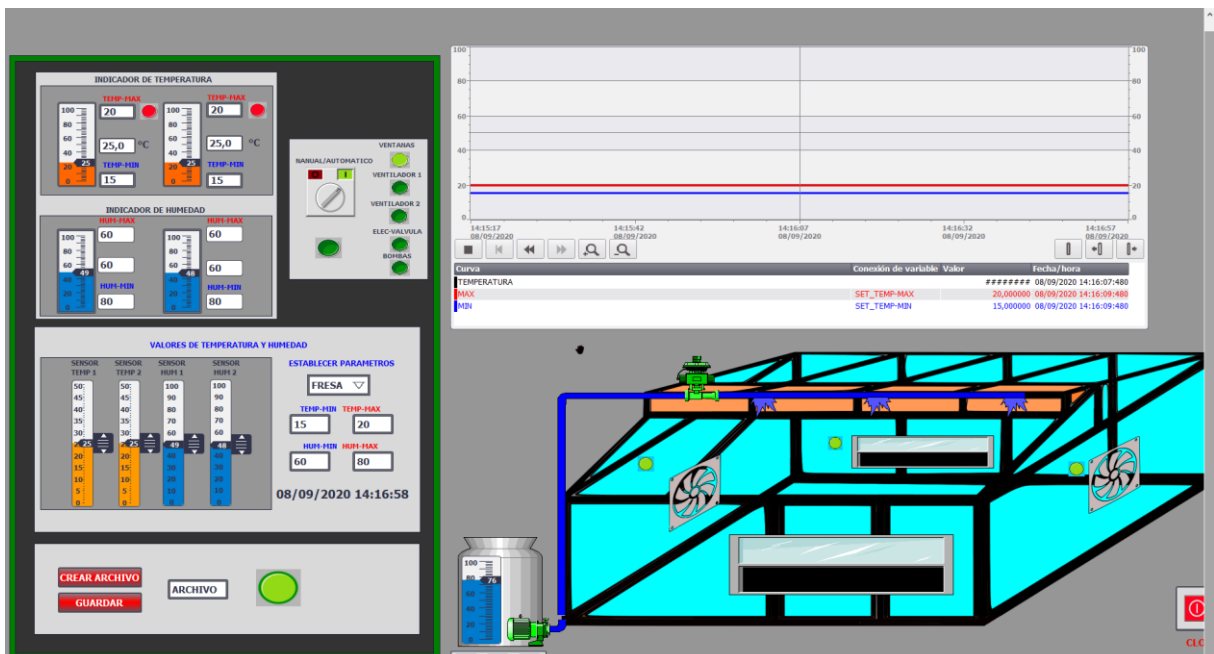
Si la temperatura es superada como indica la figura 11.30, el ventilador 1 y el ventilador 2 se encienden para disminuir la temperatura.

Figura 11.31: Encendido de las ventanas



Si la temperatura es superada y no abastece el ventilador 1 y el ventilador 2 las ventanas laterales se encienden para disminuir la temperatura. como indica la figura 11.31.

Figura 11.32: Encendido de los nebulizadores



Si la temperatura es superada y no abastece el ventilador 1 y el ventilador 2 las ventanas laterales se encienden para disminuir la temperatura, existe una relación inversamente proporcional entre la temperatura y la humedad, donde la temperatura donde se enciende el sistema de

humidificación para compensar la pérdida de humedad por la elevación de temperatura como indica la figura 11.32.

11.8. Recuperación de la inversión

A través de la ecuación 4.6 se puede determinar la cantidad total de frutos por temporada lo cual nos permite conocer el tiempo de recuperación de la inversión una vez instalado el sistema, para ello se resalta que las fresas no poseen un peso único por lo que se calculó tanto como para el peso mínimo como para el peso máximo del fruto especificado en el capítulo anterior. Se eligen los gramos de fruto anual máximo por planta debido a que con el óptimo control de las variables necesarias para su crecimiento se estima un excelente desarrollo de la producción.

Tabla 11.23: Número de fresas obtenidas en el invernadero

DATOS	VALOR	TOTAL	UNIDAD
Gramos por planta	1800	1800	gr/planta
Peso mínimo de fresa (gr)	20	90	fresas/planta
Peso máximo de fresa (gr)	50	36	fresas/planta

Una vez obtenido el número de fresas obtenidas por cada planta se procede a multiplicar este valor por cada planta que hay en el invernadero, tomando en cuenta que la distancia recomendada por planta es de 30 cm aproximadamente y que el largo de cada cama es de 20 metros en la que se coloca 1 hilera de plantas, se obtiene un total de 60 plantas tomando en cuenta un margen de error en la distancia recomendada por planta, cantidad que se multiplica por las 12 camas que existen en el invernadero se concluye que la cantidad de plantas totales dentro del invernadero es 720 plantas con las cuales se deduce los siguientes resultados.

Tabla 11.24: Cantidad y peso de fresas obtenidas en la Quinta

DATOS	VALOR	N° DE PLANTAS	TOTAL
Mínimo de fresas por planta	36	720	25920
Máximo de fresas por planta	90	720	64800
Fresas promedio		45360	
Peso mínimo total (kg)		907,2	
Peso máximo total (kg)		2268	
Peso promedio (kg)		1587,6	

Considerando un costo actual en el mercado de 1,00 USD por libra se puede deducir que las ganancias promedio obtenidas en el año es aproximadamente 3492,70 USD.

Para finalizar, mediante la aplicación de la ecuación 4.7 se determina el tiempo que tomará al dueño de la Quinta recuperar la inversión realizada para el sistema de control automático de temperatura, los costos por pérdida se determinan tomando en cuenta el costo de producción y el de cosecha puesto a que con el daño del cultivo no solo le pierde la inversión sino también el producto a ser vendido, se han obtenido como resultados los siguientes datos.

Tabla 11.25: Cálculo de años de recuperación de la inversión

DATOS	VALOR	UNIDAD
Costo de inversión del sistema	5684	USD
Costo de producción	1700	USD
Ganancia anual	3492,7	USD
Años requeridos	2,11	Años

Realizando la conversión respectiva se obtiene que el tiempo de recuperación tomando en cuenta el costo de inversión del sistema y el costo de producción es de 2 años y 1 mes y medio aproximadamente.

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS):

12.2.1. Impacto económico

La automatización del invernadero beneficia económicamente a la “Quinta Aguja de Oro” principalmente al dueño de la misma, pues, al aumentar la producción se incrementan las ganancias obtenidas, estas utilidades en principio son redirigidas en su mayoría en la recuperación de la inversión durante los 2 primeros años, posteriormente se convierten en ganancias netas, restando el capital utilizado para el proceso de producción.

12.2.2. Impacto tecnológico

El diseño conceptual del control de temperatura elimina la necesidad del monitoreo constante por parte de los trabajadores de la quinta, haciendo que esta labor demanda menor esfuerzo gracias a los implementos tecnológicos analizados en este proyecto.

12.3.3. Impacto ambiental

Al tener un mejor manejo de las variables se genera un ahorro de recursos naturales como el agua, puesto a que, al mantener la humedad relativa en condiciones óptimas, el cultivo se muestra más independiente del riego evitando el desperdicio de este recurso como usualmente sucede en cultivos cuidados de manera tradicional.

13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

13.1. Presupuesto

En esta sección se detalla los gastos directos e indirectos que requiere el control automático de temperatura, entre los gastos directos se destacan los materiales y suministros que intervienen en el sistema, estos elementos constituyen un costo aplicable para el mercado actual, además de gastos indirectos como insumos y mano de obra.

Tabla 13.26: Gastos directos del sistema automático

MATERIA PRIMA			
DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Ventilador	2	1500	3000
Motorreductor	2	230	460
Sensores	2	60	120
PLC	1	126	450
Módulo de entradas y salidas	1	300	300
Cables	20	10	200
Nebulizadores	3	30	90
Tanque 1000 lt	1	225	225
Bomba	1	59	59
Extras	1	150	150
TOTAL		5054	

Tabla 13.27: Gastos de mano de obra

MANO DE OBRA			
DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Asesor	1	50	50,00
Técnico	1	280	280,00
		TOTAL	330,00

La siguiente tabla muestra en resumen los costos directos de producción que en su mayoría son adquisiciones de elementos como sensores, controlador y actuadores.

Tabla 13.28: Gastos directos

GASTOS DIRECTOS			
DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Materia prima	1	5054	5054
Mano de obra	1	330	330
		TOTAL	5384,00

Los costos indirectos abarcan los gastos que no realizan para el control automático en la hacienda como son insumos, servicios básicos, material de oficina, entre otros

Tabla 13.29: Gasto en insumos

INSUMOS			
DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Transporte	1	20	20,00
Impuesto	400	0,1	40,00
		TOTAL	60,00

Tabla 13.30: Gastos varios

DESCRIPCION	VALOR
Arriendos	0,00
Mano De Obra Indirecta	200,00
Servicios Básicos	30,00
Material De Oficina	10,00
Otros Costos	0,00
TOTAL	240

Tabla 13.31: Tabla de gastos indirectos

INSUMOS	
DESCRIPCION	V. TOTAL
Insumos	60
Otros	240
TOTAL	300,00

Se resume el costo de inversión total en la siguiente tabla.

Tabla 13.32: Gastos totales

GASTOS TOTALES	
DESCRIPCION	TOTAL
Directos	5384,00
Indirectos	300,00
TOTAL (USD)	5684,00

Finalmente, se detallan los costos generados por el proceso de producción, el cual es fundamental para determinar el tiempo de recuperación de la inversión, para ello se basa en las fases de producción del cultivo de fresas necesarias para el área del invernadero de la “Quinta Aguja de Oro”.

Tabla 13.33 Costo de inversión para la producción del cultivo

COSTO DE PRODUCCIÓN	
DESCRIPCION	TOTAL
Fase de preparación del terreno y siembra	1200,00
Fase de crecimiento	150,00
Fase de producción y mantenimiento	350
TOTAL (USD)	1700,00
MEJORA DE PRODUCTIVIDAD	56%

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. Conclusiones

Con la investigación bibliográfica ha permitido extraer la información necesaria para el diseño conceptual de la automatización del control de temperatura y humedad en un invernadero para cultivar diferentes productos.

Los rangos de temperatura óptimos se encuentran entre los 10 a 20°C y la humedad se encuentra entre los 60 a 80% de humedad relativa, mismos que son utilizados para el diseño conceptual en el sistema automático de control de temperatura y humedad, cuyo control permite el correcto desarrollo de las plantas y a su vez alarga su vida, además se evita que la planta pierda gran cantidad de agua haciendo que sea relativamente más independiente del sistema de riego.

El diseño realizado para el funcionamiento del control automático de temperatura permite el manejo inteligente de las condiciones necesarias para la crianza de los cultivos, debido a que consta con un controlador on/off de lazo cerrado, mediante un lenguaje de programación

Ladder, que ha permitido generar líneas de programación estructuradas para cada proceso de climatización, permitiendo añadir las condiciones para otros cultivos predeterminados y la posibilidad de ingresar los rangos de temperatura y humedad para cualquier tipo de cultivo.

La interfaz gráfica Win cc muestra la simulación obtenida para validar las condiciones necesarias de temperatura y humedad el entorno del invernadero “Quinta Aguja de Oro”, por medio de esta interfaz se observan como interactúan los actuadores que permiten la manipulación de las condiciones requeridas por las fresas, cuando la temperatura dentro del invernadero aumenta por encima del límite superior se enciende la ventilación forzada y natural, por otro lado cuando el sensor de humedad detecta parámetros por debajo de los rangos determinados, entran en acción los nebulizadores climatizando así el entorno dentro del invernadero

Se muestra el análisis en tiempo real del comportamiento de las variables garantizando el correcto funcionamiento del sistema, los datos registrados por el software permiten analizar cual la mejor opción para cultivar dependiendo la temperatura promedio dentro del invernadero permitiendo validar el diseño conceptual.

14.2. Recomendaciones

Implementar este sistema para validar el diseño conceptual en tiempo real, permitiendo el monitoreo y control de los rangos óptimos de temperatura y humedad dentro del invernadero, donde se determina que el sistema de control adecuado es fundamental realizar una búsqueda en base a las necesidades teniendo en cuenta el tipo de invernadero, el cultivo a sembrar y la temperatura y humedad en donde se desea implementar el sistema, de esta manera se puede obtener buenos resultados a la hora de cosechar sin la necesidad de grandes inversiones.

Realizar mediciones de las variables por períodos de tiempo mayores a 6 meses ya que mientras más se analicen las variables involucradas en el sistema, más precisos son los resultados obtenidos, se aproximan a los valores reales de humedad y temperatura.

Mantener una estructura jerárquica y secuencial dentro de la programación para cada método de climatización pues esto permite una fácil interacción con el entorno de programación además que se puede realizar cambios de manera más sencilla en caso de tener que modificar los parámetros iniciales generados para cada elemento.

Diseñar el entorno de visualización de una manera didáctica para una fácil interpretación por parte de la persona a cargo del cultivo, además es fundamental almacenar los datos generados

por el software, de esta manera se puede analizar el comportamiento de las variables dentro del invernadero, esto permite seleccionar de mejor manera el producto a cultivar y en qué fecha del año es la más indicada para hacerlo.

15. REFERENCIAS

- [1] UNESCO, «Clasificación Internacional Normalizada de la Educación,» SENE CYT, Quito, 1997.
- [2] J. Pérez, L. López y R. Romero, AUTOMATIZACION DE INVERNADERO PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS EN EL SALVADOR, La Libertad, El Salvador: Escuela especializada en Ingeniería, 2016.
- [3] P. Guzmán, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA HUERTO DOMÉSTICO CON TECNOLOGÍA AEROPÓNICA, Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Nacional, 2016.
- [4] GAD COTOPAXI, PUJILÍ, 2014.
- [5] INAMHI, ANUARIO MATEOROLÓGICO, Quito-Ecuador, 2017.
- [6] C. Morales, MANUAL DE LA FRUTILLA, Santiago de Chile: INIA, 2017.
- [7] CÁMARA DE LA AGRICULTURA, «El Cultivo De La Frutilla,» Quito, 2018.
- [8] R. A. Eduardo Miserendino, «Invernaderos: aspectos básicos sobre estructura, construcción y condiciones ambientales,» Estación Experimental Agroforestal Esquel, 02 2014. [En línea]. Available: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_agricultura23_invernadero.pdf.
- [9] AGROPINOS, «Tipos de invernaderos en Colombia,» NOTICIAS DEL AGRO, 2018. [En línea]. Available: <https://www.agropinos.com/tipos-de-invernaderos>.
- [10] AGRÍCOLAS S.A, «Invernadero Tropical o Asimétrico,» NOVAGRIC, 2016. [En línea]. Available: <https://www.novagric.com/es/>.
- [11] S&P Sistemas de ventilación, La climatización de invernaderos, Barcelona, 2016.
- [12] J. I. Montero, REFRIGERACIÓN DE INVERNADEROS II, Barcelona: Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària, 2015.
- [13] R. H. Gaviño, Introducción a los sistemas de control, aplicaciones y simulación con Matlab, L. M. C. Castillo, Ed., Juarez: PEARSON, 2010, p. 528.
- [14] P. Proaño, «CONTROL AUTOMÁTICO CENTRALIZADO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LECHE, YOGURT Y QUESO EN LA PLANTA DE LÁCTEOS MARCO'S,» 07 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2359>. [Último acceso: 10 11 2019].

- [15] B. C. Kuo, SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO, Séptima Edición ed., Naucalpan de Juárez: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICA, S.A., 2017, p. 897.
- [16] meautomatismos, «Blogs.post,» 11 2015. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/03fmeautomatismos/home/tipos-control>. [Último acceso: 10 11 2019].
- [17] W. Bolton, SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO EN LA INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA, Alfaomega grupo editor S.A. , 2013, p. 648.
- [18] René Corrales, Orlando Suatunce, «Automatización del proceso de producción de queso para la Microempresa "Quesera San José de Chanchalo",» 06 2005. [En línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/373>. [Último acceso: 10 11 2019].
- [19] J. Rodríguez, Curso de fundamentos de instrumentación industrial, 2006.
- [20] SIEMENS AG, SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200, Núremberg, 2014.
- [21] P. Centena, INTRODUCCIÓN A TÍA PORTAL CON S7-1500, Madrid, 2017.
- [22] INNERGY, «INNERGY ELECTRIC,» 2017. [En línea].
- [23] AUTYCOM, «AUTYCOM,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.autycom.com/hmi-siemens-o-aplicacion-pc/>.
- [24] WATLOW, «Guía de comparación de sensores de temperatura,» Watlow Electric Manufacturing Company, St. Louis Misuri, 2016.
- [25] SENSOVAMT, «EE211,» Valencia, 2020.
- [26] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, «El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo,» Italia, 2002.
- [27] HYDRO ENVITONMENT, «Ventilación en un invernadero,» Tlalnepantla de Baz, 2020.
- [28] MASTER PLC, «Las 20 Principales Marcas de PLC y Software más usados,» 2019. [En línea]. Available: <https://masterplc.com/programacion/principales-marcas-de-plc/>.
- [29] Info PLC, «Cuadro Comparativo plc,» 2018.
- [30] H. Cabrera, «“ANÁLISIS ECONÓMICO Y PRODUCTIVO DE LA PRODUCCIÓN DE MORA Y FRUTILLA DE LAS FINCAS PROVEEDORAS A LA PLANTA PROCESADORA DE PULPA DE LA “COPROMOF” DEL CANTÓN PALLATANGA”,» Loja, 2010.
- [31] M. Bolda, L. Tourte y J. Murdock, «MUESTRA DE COSTOS PARA PRODUCIR Y COSECHAR FRESAS ORGÁNICAS,» Universidad de California, San Francisco, 2019.
- [32] AirMaxGL, «Extractor / Ventilador,» Medellín, 2019.

[33] electronicatotal, «Electronica total,» 25 10 2019. [En línea].

[34] FW Murphy Production Controls, «Series TC, RTD y RTDT,» ENERGOPETROL SA, Quito, 2017.

16. ANEXOS