



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

---

---

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DIGITAL PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA EN UN INVERNADERO DE TOMATE.

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

**P R E S E N T A N:**

BALTAZAR AGUILAR JONATHAN

ENCISO HERNÁNDEZ DANIEL

VARGAS DOMÍNGUEZ MICHELL ANTONIO

*Asesores:*

M. en C. IVONE CECILIA TORRES RODRÍGUEZ

M. en C. PEDRO FRANCISCO HUERTA GONZÁLEZ

México, D. F.

Mayo de 2014





# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.



## INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

### TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL  
DEBERA(N) DESARROLLAR C. DANIEL ENCISO HERNÁNDEZ  
C. JONATHAN BALTAZAR AGUILAR  
C. MICHELL ANTONIO VARGAS DOMÍNGUEZ

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DIGITAL PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA EN UN INVERNADERO DE TOMATE”

DISEÑAR EL SISTEMA AUTOMATIZADO E IMPLEMENTAR UN DISPOSITIVO DIGITAL PARA MANTENER LA TEMPERATURA PROPICIA EN UN INVERNADERO DE TOMATE, MEDIANTE EL CONTROLADOR JCS-33A.

- ❖ MARCO TEÓRICO.
- ❖ DESCRIPCIÓN Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL INVERNADERO.
- ❖ DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PARA EL INVERNADERO.
- ❖ DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO.
- ❖ ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.
- ❖ COSTO DEL PROYECTO.

MÉXICO D. F., A 24 DE MARZO DE 2015.

#### ASESORES

M. EN C. IVONE CECILIA TORRES RODRÍGUEZ

M. EN C. PEDRO FRANCISCO HUERTA GONZÁLEZ

M. EN C. MIRIAM GÓMEZ ÁLVAREZ  
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE  
INGENIERÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN



IPN  
JEFATURA IC A



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

---



## AGRADECIMIENTOS

Daniel Enciso Hernández

Gracias Instituto Politécnico Nacional por brindarme la oportunidad de ser mi casa de estudio, gracias ESIME Zacatenco por formarme profesionalmente, enseñarme y brindarme los conocimientos que adquiere a lo largo de la carrera.

Gracias a mis padres que estuvieron en todo momento apoyándome para mi formación profesional, gracias por ser mis padres, gracias por brindarme la oportunidad de tener una formación profesional, gracias a esas dos personas que en donde quiera que estén al igual que yo, están celebrando este triunfo, que a base de esfuerzos y dedicación se logró la terminación de mi carrera profesional.

Gracias mamá por apoyarme en cada momento y dar lo mejor de ti para lograr esto, gracias papá por estar con migo, brindarme tus conocimientos y experiencias, gracias hermano por tu apoyo incondicional, gracias por tu apoyo incondicional, gracias familia este logro es dedicado para ustedes.

“EL ÉXITO SE ALCANZA A BASE DE ESFUERZO Y DEDICACIÓN”

Gracias ESIME ZACATENCO;

“MIS COLORES SON EL VERDE Y BLANCO PORQUE EL ROJO LO LLEVO EN LA SANGRE”

Michell Antonio Vargas Domínguez

Gracias Dios por todo lo que me has dado en esta vida, a mis padres, a mi familia y todo aquello que es parte importante de mí. Gracias por las cosas buenas que trajeron alegría y buenos momentos, por las cosas malas que trajeron experiencia y aprendizaje. Gracias por todo lo que he visto y he vivido. Gracias por los caminos que he cruzado y que hoy me permiten llegar a este punto de mi vida y aunque este no es el final sé que me esperan grandes aventuras.

Gracias Padres por el apoyo incondicional que me han brindado siempre y en todo momento y aún más en mi etapa como estudiante. Gracias Papá por todo el esfuerzo que has hecho y por todo lo que me has dado para que pudiera concluir esta carrera. Gracias Mamá por las motivaciones y oraciones para mí para que pudiera llegar al final y por todo el cariño que me has dado. Gracias a ambos por educarme y por formar a esta persona que soy yo.



## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

---



Gracias al resto de mi familia por estar conmigo en este viaje. Gracias Abuelo por tus enseñanzas y aun que no estamos en el mismo plano sé que estas muy orgulloso de mi. Gracias Abuela, Tía y Hermana por acompañarme y ser parte de esto.

Gracias al Instituto Politécnico Nacional, por permitirme estudiar en esta casa de estudios. Gracias a los profesores por haberme instruido y formado como persona y como profesional, con sus conocimientos y experiencias. Gracias a todos los que estuvieron involucrados en este trabajo por el esfuerzo y dedicación.

*“La disciplina es el puente entre lo que tenemos y lo que soñamos”.*

Jonathan Baltazar Aguilar

En este pequeño espacio quiero agradecer a esta honorable casa de estudios que es el instituto politécnico nacional, en donde mi formación universitaria fue forjándose con base en esfuerzo y dedicación para lograr este trabajo final con el que recibo el título de ingeniero.

Agradezco a mis padres por apoyarme durante todas las etapas de mi educación hasta llegar aquí, al punto más importante y que se den cuenta que ese esfuerzo está rindiendo frutos.

Que con lo plasmado en este trabajo pueden comprobar que mi formación tanto estudiantil como personal ha sido guiada a través de valores tan importantes como lo son la responsabilidad, la honestidad, el respeto, la dedicación y el trabajo en equipo.

Por último quiero agradecer a todas esas personas que siempre me apoyaron, amigos y familiares que estuvieron al pendiente de mis estudios y que fueron parte de esa motivación extra que hacía que me esforzara por lograr un trabajo de calidad.



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

---

## RESUMEN

En el capítulo 1 está enfocado en la parte teórica sobre qué es un invernadero y su clasificación, las variables que influyen dentro de los invernaderos además de la descripción del jitomate, sus características y se agregó las empresas dedicadas a la automatización de invernaderos con descripciones de sus equipos.

Para el capítulo 2 se describe a grandes rasgos las condiciones actuales de operación del invernadero, dimensiones y ubicación geográfica, se desarrollaron las propuestas de automatización del invernadero las cuales fueron; uso de un PLC, Microcontrolador (PIC), Arduino y la del controlador de temperatura Shinko, en el capítulo se realizó la descripción de la ventajas y desventajas de utilizar cada dispositivo, además de la justificación del porque el controlador de temperatura Shinko fue el adecuado para el ser utilizado en el invernadero.

En el capítulo 3 se realizó la descripción del sistema automatizado para invernadero, en el que se desarrolló las característica de los elementos que se utilizaron para llevar a cabo el sistema automatizado, además se explica la reubicación de los elementos finales de control.

El capítulo 4 se tienen los diagramas de conexiones eléctricas, mostrando cada dispositivo y la forma en que operan el sistema automatizado, en este se describe los diferentes algoritmos de control que existen, se seleccionó el adecuado para ser utilizado en función de los requerimientos del proceso, se realizó una explicación a grandes rasgos del funcionamiento del algoritmo utilizado y la configuración del controlador.

El capítulo 5 se tiene como contenido el análisis y presentación de resultados, en este capítulo se describen las pruebas que se realizaron en el invernadero, las cuales abarcan la selección de la ubicación de los sensores de temperatura, ubicación del tablero de control, medición de elementos del tablero control: sobrecarga, se realizó la filosofía de operación del proceso y la conclusión del trabajo de tesis.

En el capítulo 6 se describe los costos de los equipos y de los materiales que se usaron en este proyecto además de los costos de traslado y la mano de obra añadiendo un análisis de este proyecto referente a otras formas de solución al problema que se tenía en el invernadero.



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

## CONTENIDO

OBJETIVO GENERAL .....	1
OBJETIVOS PARTICULARES .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
JUSTIFICACIÓN .....	3
CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO .....	4
1.1 INVERNADEROS .....	5
1.1.1 CLASIFICACIÓN DE INVERNADEROS .....	5
1.1.2 INVERNADERO TIPO DIENTE DE SIERRA .....	6
1.2 CONTROL CLIMÁTICO EN INVERNADEROS .....	7
1.2.1 SITUACIÓN ACTUAL EN LA AGRICULTURA Y CONTROL CLIMÁTICO .....	7
1.2.2 VARIABLES A CONTROLAR EN UN INVERNADERO .....	7
1.2.2.1 TEMPERATURA .....	8
1.2.2.2 HUMEDAD .....	8
1.2.2.3 LUZ .....	8
1.2.2.4 CO <sub>2</sub> .....	8
1.3 JITOMATE .....	8
1.3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA .....	10
1.3.2 DIFERENTES TIPOS DE AFECTACIONES EN EL JITOMATE .....	10
1.3.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS PARA EL CULTIVO DEL JITOMATE DENTRO DEL INVERNADERO .....	12
1.4 EQUIPOS PARA EL CONTROL CLIMÁTICO EN INVERNADEROS .....	12
1.4.1 EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE INVERNADEROS .....	12
CAPÍTULO 2 DESCRIPCIÓN Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL INVERNADERO .....	19
2.1 DESCRIPCIÓN DEL INVERNADERO .....	20
2.1.1 CONDICIONES ACTUALES DEL INVERNADERO .....	20
2.1.2 DIMENSIONES DEL INVERNADERO .....	20



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL INVERNADERO.....	23
2.3 DESCRIPCIÓN ACTUAL DEL INVERNADERO .....	23
2.4 PROPUESTAS DE AUTOMATIZACIÓN.....	26
2.4.1 PROPUESTA CON PIC .....	27
2.4.2 PROPUESTA CON ARDUINO .....	28
2.4.3 PROPUESTA CON PLC .....	29
2.4.4 PROPUESTA CON CONTROLADOR DE TEMPERATURA.....	29
2.5 PROPUESTA DEL SENSOR .....	30
2.6 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN.....	31
CAPÍTULO 3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PARA EL INVERNADERO.....	33
3.1 ESTRUCTURA.....	34
3.2 TERMOPAR TIPO J.....	35
3.3 CONTROLADOR DE TEMPERATURA – SHINKO SERIE JCS-33A.....	35
3.4 CALEFACTOR.....	36
3.5 VENTILADOR.....	37
3.6 CONTACTOR .....	40
CAPÍTULO 4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO.....	42
4.1 DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL .....	44
4.2 CONTROL ON/OFF POR HISTERESIS .....	46
4.3 CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR .....	51
CAPÍTULO 5 ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	55
5.1 FILOSOFÍA DE OPERACIÓN.....	57
5.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	57
CAPÍTULO 6 COSTOS DEL PROYECTO.....	75
CONCLUSIONES .....	80



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Invernadero.....	5
Figura 1.2. Invernadero Tipo Diente de Sierra.....	7
Figura 1.3. Jitomate.....	9
Figura 1.4. Tipos de Jitomate.....	10
Figura 1.5. Sistema de Dosificación de Fertilizantes.....	13
Figura 1.6. Sistema de Tratamiento de Agua.....	13
Figura 1.7. Sistema de Control de Riego y Clima.....	14
Figura 1.8. Calefactor y Ventilador.....	14
Figura 1.9. Equipo de Control Climático de Harnois.....	16
Figura 1.10. Sistema de Luminosidad.....	17
Figura 1.11. Sistema de Calefacción.....	17
Figura 2.1. Dimensiones del Invernadero.....	20
Figura 2.2. Cara Lateral del Invernadero.....	22
Figura 2.3. Parte Frontal del Invernadero.....	22
Figura 2.4. Macro Localización Geográfica.....	23
Figura 2.5. Ventiladores Instalados en el Invernadero.....	23
Figura 2.6. Calefactores Instalados en el Invernadero.....	24
Figura 2.7. Apertura y Cierre de las Cortinas.....	24
Figura 2.8. Diagrama de Bloques del Lazo Cerrado.....	27
Figura 2.9. Microcontrolador PIC 16F877A.....	28
Figura 2.10. Arduino UNO.....	28
Figura 2.11. PLC.....	29
Figura 2.12. Controlador de Temperatura.....	29
Figura 3.1. Estructura de los Elementos para el Diseño de la Automatización del Invernadero.....	34
Figura 3.2. Termopar Tipo J.....	34
Figura 3.3. Controlador de Temperatura Shinko.....	35



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Figura 3.4.Calefactor por Convección.....	36
Figura 3.5.Ventilador.....	37
Figura 3.6.Ubicación de los Equipos de Acuerdo a la Norma.....	38
Figura 3.7.Contactor Electromagnético LC1D09.....	39
Figura 4.1.Diagrama de Fuerza.....	43
Figura 4.2.Diagrama de Control.....	44
Figura 4.3.Tablero.....	45
Figura 4.4.Montaje de Equipos en el Tablero de Control.....	45
Figura 4.5.Diagrama de Ubicación.....	46
Figura 4.6.Diagrama de Bloques con Histéresis.....	47
Figura 4.7.Control de la Temperatura por Medio de un Algoritmo de Control ON/OFF.....	48
Figura 4.8.Rango de Operación del Set Point (SP) Utilizando Histéresis.....	49
Figura 4.9.Ejemplificación de las Condiciones de Operación del Controlador.....	50
Figura 4.10.Diagrama de Flujo de la Configuración del Controlador.....	52
Figura 4.11.Configuración del Set Point.....	53
Figura 4.12.Configuración de los Límites de la Histéresis Superior e Inferior.....	53
Figura 4.13.Configuración de las Salidas del Controlador.....	54
Figura 5.1.Primeras Pruebas del Controlador Utilizando el Calefactor y Ventilador Doméstico.....	56
Figura 5.2.Pruebas con la Sobrecarga de Manera Manual.....	57
Figura 5.3.Gráfica del período de Pruebas sin Control de Temperatura.....	58
Figura 5.4.Gráfica de los Puntos con Mayor Variación de Temperatura.....	59
Figura 5.5.Ubicación del Termopar en la Parte Central y Delantera del Invernadero.....	61
Figura 5.6.Pantalla del Controlador de Temperatura.....	61
Figura 5.7.Ubicación del Tablero de Control.....	62
Figura 5.8.Medición de la Temperatura en el Día 1.....	62
Figura 5.9.Medición de la Temperatura en el Día 3.....	63
Figura 5.10.Medición de la Temperatura en el Día 6.....	63



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

---

Figura 5.11.Medición de la Temperatura en el Día 9.....	64
Figura 5.12.Monitoreo de la Temperatura en el Día 10. ....	68
Figura 5.13.Gráfica Durante el Día 10. ....	68
Figura 5.14.Monitoreo de la Temperatura en el Día 15. ....	69
Figura 5.15.Gráfica Durante el Día 15. ....	69
Figura 5.16.Monitoreo de la Temperatura en el Día 20. ....	70
Figura 5.17.Gráfica Durante el Día 20. ....	70
Figura 5.18.Monitoreo de la Temperatura en el Día 25. ....	71
Figura 5.19.Gráfica Durante el Día 25. ....	71
Figura 5.20.Monitoreo de la Temperatura en el Día 30. ....	72
Figura 5.21.Gráfica Durante el Día 30. ....	72
Figura 5.22.Monitoreo de la Temperatura en el Día 35. ....	73
Figura 5.23.Gráfica Durante el Día 35. ....	73
Figura 5.24.Monitoreo de la Temperatura en el Día 41. ....	74
Figura 5.25.Gráfica Durante el Día 41. ....	74



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.Diferentes Padecimientos en la Producción del Jitomate.....	11
Tabla 2.1.Especificaciones de la Estructura del Invernadero Diente de Sierra. ....	21
Tabla 2.2.Comparación de Elementos Primarios de Medición RTD y Termopar.....	30
Tabla 2.3.Tipos de Termopares y Rangos de Medición. ....	30
Tabla 2.4.Requisitos para Utilizar el Controlador Shinko en el Invernadero de Jitomate.....	32
Tabla 3.1.Características del Controlador Digital de Temperatura Shinko – JCS-33A. ....	35
Tabla 3.2.Características del Calefactor TGA. ....	37
Tabla 3.3.Características del Ventilador. ....	38
Tabla 3.4.Especificaciones del Contactor LC1D09. ....	40
Tabla 4.1.Algoritmos de Control. ....	47
Tabla 5.1.Mediciones Estratégicas para la Ubicación de los Termopares. ....	58
Tabla 5.2.Análisis de los Puntos Críticos de la Temperatura Dentro del Invernadero. ....	59
Tabla 5.3.Período en el que se Realizaron las Mediciones en el Invernadero. ....	65
Tabla 6.1.Costo de Equipos/Materiales. ....	76
Tabla 6.2.Gastos de Traslado al Invernadero. ....	77
Tabla 6.3.costo de Mano de Obra. ....	77

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82
----------------------------------	----



# GLOSARIO



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.



## GLOSARIO

**Acción de control:** es la respuesta del elemento final de control después de que el sistema ya analizó las variables manipuladas y controladas, esta acción es el punto clave del lazo de control o la estrategia de control utilizada.

**Bioproductividad:** es la medida con la que se hace referencia a la productividad en las actividades agrícolas, medioambientales.

**Cipermetrina:** es un insecticida, no sistémico, no volátil que actúa por contacto e ingestión. Ofrece un control efectivo de insectos y baja toxicidad para los mamíferos. Tiene muy buena efectividad en lepidópteros, coleópteros y hemípteros. La cipermetrina también es utilizada para controlar las moscas y demás insectos en los habitáculos de los animales domésticos y plagas que afectan la salud pública.

**Controlador:** es un dispositivo que recibe una señal eléctrica o neumática de un transmisor para después permita al sistema operativo interactuar con un periférico, haciendo una abstracción del hardware y proporcionando una interfaz -posiblemente estandarizada- para usarlo. Se puede esquematizar como un manual de instrucciones que le indica cómo debe controlar y comunicarse con un dispositivo en particular. Por tanto, es una pieza esencial, sin la cual no se podría usar el hardware.

**CO<sub>2</sub>:** es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Su fórmula molecular es CO<sub>2</sub>. Es una molécula lineal y no polar, a pesar de tener enlaces polares. Esto se debe a que, dada la hibridación del carbono, la molécula posee una geometría lineal y simétrica. Su representación por estructura de Lewis es: O=C=O.

**Diagrama de bloques:** es la representación de entradas, salidas y componentes de un lazo de control de un proceso.

**Dimetoato:** es un insecticida que se emplea en numerosos cultivos en todo el mundo, es un compuesto de metabolito del formotion y un plaguicida de derecho propio.

**Dispositivo digital:** es una combinación de dispositivos diseñados para la generación, transmisión, procesamiento, almacenamiento y manipulación de cantidades físicas o información que estén representados en forma digital, es decir, que solo tomen valores discretos.

**Elemento final de control:** es el elemento que se acciona cuando el lazo de control proceso una respuesta, puede ser una válvula, un motor, un ventilador, un calefactor, etc.

**Elongación:** es el crecimiento de la cadena naciente de ADN en la replicación o de ARN en la transcripción.

**Humedad:** se denomina humedad al agua que impregna un cuerpo o al vapor presente en la atmósfera.



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

---

**Lazo de control cerrado:** es un control que permite por medio de la retroalimentación mejorar los parámetros de la variable controlada y llevarlos al Set Point (valor deseado).

**Luminosidad:** niveles de radiación. Se llama luz (del latín *lux, lucis*) a la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano. En física, el término luz se usa en un sentido más amplio e incluye todo el campo de la radiación conocido como espectro electromagnético, mientras que la expresión *luz visible* señala específicamente la radiación en el espectro visible.

**MegaJoules:** joules es la unidad de medida utilizada para la representación de trabajo, esta unidad se deriva de newton/metro.

**Microcontrolador (PIC):** es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

**NEMA 4X:** para uso interior o al aire libre, proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto incidental con el equipo, proporcionar un grado de protección contra suciedad, lluvia, aguanieve, nieve, vientos de polvo, salpicaduras de agua, chorros dirigidos de agua y corrosión, además permanecerá ileso a pesar de la formación externa de hielo.

**Peat Moss:** *Sphagnum*, el esfagno, es un género de entre 150-350 de especies de musgos comúnmente llamados *musgos de turbera* (en países anglosajones: *peat moss*) Los miembros de este género pueden retener grandes cantidades de agua dentro de sus células.

**PH:** es la unidad de medida del potencial de hidrogeno que se encuentra en un elemento o compuesto químico, ya sea base o ácido, y comprende una escala que maneja el rango de 0 a 14, utilizando el 7 como neutrón.

**Plántula:** se denomina plántula a cierta etapa del desarrollo del esporófito, que comienza cuando la semilla sale de la germinación, y termina cuando el esporofito desarrolla sus primeras hojas nocotiledonares. Una plántula típica consiste de tres partes principales: la radícula o raíz embrionaria, el hipocótilo o tallo embrionario y los cotiledones además de una o dos de sus hojas verdaderas, por encima de los cotiledones.

**Poliestireno:** es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno. Existen cuatro tipos principales: el PS cristal, que es transparente, rígido y quebradizo; el poliestireno de alto impacto, resistente y opaco, el poliestireno expandido, muy ligero, y el poliestireno extrusionado, similar al expandido pero más denso e impermeable.

**Polinización:** es el proceso de transferencia del polen desde los estambres hasta el estigma o parte receptiva de las flores en las angiospermas, donde germina y fecunda los óvulos de la flor, haciendo posible la producción de semillas y frutos.

**RTD:** es un detector de temperatura resistivo, es decir, un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura.



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

---

**Sensor:** es el elemento primario, dispositivo o instrumento que está en contacto directo con la variable del sistema.

**Set Point:** es el punto de referencia que el operador maneja para que el sistema tenga un punto de inicio y realice una comparación con la salida.

**Temperatura:** se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como energía cinética, que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema.

**Termohigrómetro:** se basan en sensores que miden la conductividad eléctrica de un material a distintas temperaturas y humedades. Es un equipo que mide la temperatura y la humedad relativa del aire y del medio ambiente.

**Termopar:** un termopar (termocupla) es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de los milivoltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado punto caliente, unión caliente o de medida y el otro llamado punto frío, unión fría o de referencia.

**Tutoreo:** práctica imprescindible para mantener la planta erguida y evitar que las hojas y sobre todo los frutos toquen el suelo, mejorando así la aireación general de la planta y favoreciendo el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales (podas sanitarias, Recolección, etc.), evitando el ataque de plagas y enfermedades.

**Variable:** es una palabra que representa a aquello que varía o que está sujeto a algún tipo de cambio.

**AMCI:** Asociación mexicana de constructores de invernaderos.

**CNCP:** Centro de normalización y certificación de productos.

**ICAMEX:** Investigación y capacitación agropecuaria y forestal del estado de México.

**NMX:** Norma mexicana.

**NOM:** Norma oficial mexicana.

**SAGARPA:** Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural y alimentación



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

---

## OBJETIVO GENERAL

Diseñar el sistema automatizado e implementar un dispositivo digital para mantener la temperatura propicia en un invernadero de tomate, mediante el controlador JCS-33A.

## OBJETIVOS PARTICULARES

- Diseñar un sistema de automatización con ayuda de un controlador de temperatura Shinko serie JCS-33A.
- Configurar el controlador de temperatura Shinko serie JCS-33A bajo los parámetros de operación apropiados y específicos para el cultivo de tomate dentro del invernadero.
- Implementar un sistema automatizado que cubra los requerimientos necesarios para el invernadero de tomate y sea de fácil utilización para los operarios.

## INTRODUCCIÓN

Debido a las fuertes demandas de producción, diversidad, calidad y exigencias del sector agroalimentario, el cual está continuamente sujeto a una nueva incorporación de tecnologías, donde se requiere una renovación tecnológica permanente del sector, la INGENIERÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN, juega un papel importante. En este sentido, el control automático, está presente en todos los niveles de la producción agrícola; plantación, producción, cosecha y procesos de transporte.

La agricultura moderna está sujeta a regulaciones en términos de calidad e impacto ambiental, es un campo donde la aplicación de técnicas de control ha aumentado considerablemente durante los últimos años. En la actualidad el avance tecnológico se ha desarrollado notablemente, entre ellas existe una mejora en el cuidado de cultivos propiamente en invernaderos. Un invernadero está diseñado para producir condiciones ambientales apropiadas y específicas para cada cultivo.

Los principales problemas climáticos que se presentan en los invernaderos son: temperatura, humedad, concentración de CO<sub>2</sub>, luz, viento y lluvia, debido a que afectan de diferente manera sobre los diferentes cultivos, de modo que los podemos controlar incidiendo en distintos puntos.

En los invernaderos diente de sierra, la temperatura es la variable que influye directamente con el crecimiento, desarrollo y maduración del cultivo (jitomate), esta variable es de suma importancia tanto para el cultivo, como para el invernadero, la variación de la temperatura afecta principalmente en la generación de plagas y en el deterioro de la cubierta de plástico (polietileno de alta densidad).

En cuanto al proceso del cultivo de jitomate, la temperatura es la variable es la que influye directamente en el crecimiento y desarrollo. "La temperatura ideal fluctúa entre los 23 °C durante el día y entre 13 y 17°C durante la noche, las temperaturas superiores a los 30°C afectan la fluctuación del cultivo y temperaturas inferiores a los 10°C originan problemas con el desarrollo del plantío. La maduración del fruto es influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10°C, así como a los mayores de 30°C originan tonalidades amarillas [1].



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

---

A continuación se hace una descripción de los capítulos de este trabajo de tesis;

En el capítulo 1 es la parte teórica sobre qué es un invernadero y su clasificación, las variables que influyen dentro de los invernaderos además de la descripción del jitomate, sus características y se agregó las empresas dedicadas a la automatización de invernaderos con descripciones de sus equipos.

Para el capítulo 2 se describe a grandes rasgos las condiciones actuales de operación del invernadero, dimensiones y ubicación geográfica, se desarrollaron las propuestas de automatización del invernadero las cuales fueron; uso de un PLC, Microcontrolador (PIC), Arduino y la del controlador de temperatura Shinko, en el capítulo se realizó la descripción de la ventajas y desventajas de utilizar cada dispositivo, además de la justificación del porque el controlador de temperatura Shinko fue el adecuado para el ser utilizado en el invernadero.

En el capítulo 3 se realizó la descripción del sistema automatizado para invernadero, en el que se desarrolló las características de los elementos que se utilizaron para llevar a cabo el sistema automatizado, además se explica la reubicación de los elementos finales de control.

El capítulo 4 se tienen los diagramas de conexiones eléctricas, mostrando cada dispositivo y la forma en que operan el sistema automatizado, en este se describe los diferentes algoritmos de control que existen, se seleccionó el adecuado para ser utilizado en función de los requerimientos del proceso, se realizó una explicación a grandes rasgos del funcionamiento del algoritmo utilizado y la configuración del controlador.

El capítulo 5 se tiene como contenido el análisis y presentación de resultados, en este capítulo se describen las pruebas que se realizaron en el invernadero, las cuales abarcan la selección de la ubicación de los sensores de temperatura, ubicación del tablero de control, medición de elementos del tablero control: sobrecarga, se realizó la filosofía de operación del proceso y la conclusión del trabajo de tesis.

En el capítulo 6 se describe los costos de los equipos y de los materiales que se usaron en este proyecto además de los costos de traslado y la mano de obra añadiendo un análisis de este proyecto referente a otras formas de solución al problema que se tenía en el invernadero.



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

## JUSTIFICACIÓN

Para los agricultores es de primordial cumplir con las expectativas y satisfacciones de los compradores, por ello es necesario poseer un excelente cultivo, aplicando cualquier tipo de herramientas que permitan mejorar el proceso del cultivo. El invernadero enfoca sus esfuerzos en satisfacer a sus clientes, por lo que los cultivos requieren un proceso de mayor exigencia, siendo de vital importancia su cuidado.

El invernadero es utilizado para mejorar las condiciones ambientales apropiadas para los cultivos, aumentando la productividad y calidad de los cultivos, en el municipio de Zumpango Estado de México, se tiene un invernadero que cuenta con las condiciones básicas para controlar la temperatura de manera manual.

Con la automatización del invernadero, garantizará el cumplimiento de las condiciones de operación adecuadas para el cultivo, mediante el manejo y monitoreo de la temperatura dentro del invernadero de jitomate, así mismo, es relevante destacar que el jitomate es el nombre que se le da de manera coloquial para poder diferenciarlo del tomate verde, mientras que etimológicamente se le conoce tomate rojo, la importancia de este producto a nivel nacional como internacional es relevante, debido a que pertenece a la canasta básica de los productos de primera necesidad de los consumidores.

Los datos de la producción del jitomate son los siguientes;

México ocupa el primer lugar en cuanto a exportación de jitomate a nivel continental, esto se debe a que el estado de Sinaloa es la entidad con mayor producción de jitomate a nivel nacional, no solo abastece a todo el país si no que con la misma producción también abastece a Estados Unidos y parte de Canadá, a nivel mundial ocupa el octavo lugar de exportación de jitomate.

Los datos antes mencionados paradójicamente vienen de una caída en la producción desde la década de los 90, en el año de 1990 la producción de jitomate en México alcanzaba las 85 mil toneladas, mientras que en el año 2013 la producción tan solo era de 53.3 mil toneladas, aun así la producción mexicana de este cultivo es de las mejores a nivel mundial, pero seguirá disminuyendo debido a que las condiciones de operación no son las adecuadas para el cultivo, esto se debe a la falta de automatización dentro de los invernaderos de estos cultivos, la cual implica el control de las variables; Temperatura, Humedad, CO<sub>2</sub>, Luminosidad [14].

La variable de mayor importancia para el cultivo de jitomate es la temperatura, esta variable es la que influye directamente en el desarrollo, maduración, crecimiento y coloración, así como en las funciones de fotosíntesis, respiración, absorción del agua, nutrientes y transpiración del cultivo, sin dejar atrás la importancia que tienen las demás variables para el cultivo. En este punto se basa la trascendencia de la propuesta de automatización de este proceso dentro del invernadero, el cual garantice el cumplimiento de las condiciones de operación del cultivo, considerando tres factores importantes que cumplan con las condiciones requeridas de acuerdo a la NOM 007, ICAMEX y AMCI;

- 1.-Mantener la temperatura en condiciones adecuadas y apropiadas para el cultivo.
- 2.-Costo accesible de materiales.
- 3.-Los materiales con los cuales se construya sean resistentes al uso.



# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

## 1.1 INVERNADEROS

Los invernaderos son estructuras de diversas formas y tamaños, que tienen la capacidad de generar en su interior condiciones climáticas de temperatura y humedad ideales para cualquier cultivo en las diferentes estaciones del año, o en sectores donde las condiciones climáticas son adversas. La figura 1.1 muestra un invernadero.

El invernadero es una estructura, habitualmente de manera semicilíndrica, que está protegida externamente por plástico o vidrio, de esta forma protege a las plantas del frío y la lluvia, ya que en su interior las condiciones climáticas son mucho más cálidas.

La forma en que los invernaderos funcionan es sencilla, debido al plástico o vidrio que los recubre, tiene la capacidad de retener de mejor forma el calor en su interior. Por lo tanto, las plantas que no toleran el frío o mucha agua de lluvia, pueden ser cultivadas en un invernadero, el cual tiene la capacidad de generar un pequeño microclima [2].



Figura 1.1. Invernadero. Fuente: <http://www.innatia.com> (Septiembre, 2013)

### 1.1.1 CLASIFICACIÓN DE INVERNADEROS

Los invernaderos se pueden clasificar de distintas formas, según se atiende a determinadas características de sus elementos constructivos por su perfil externo, según su fijación o movilidad, por el material de cubierta, según el material de la estructura, etc.

La elección de un tipo de invernadero está en función de una serie de factores o aspectos técnicos:



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

- Tipo de suelo.- Se deben elegir suelos con buen drenaje y de alta calidad aunque con los sistemas modernos de fértil riego es posible utilizar suelos pobres con buen drenaje o sustratos artificiales.
- Topografía.- Son preferibles lugares con pequeña pendiente orientados de norte a sur.
- Vientos.- Se tomarán en cuenta la dirección, intensidad y velocidad de los vientos dominantes.
- Exigencias bioclimáticas de la especie en cultivo.

Características climáticas de la zona o del área geográfica donde vaya a construirse el invernadero:

- Disponibilidad de mano de obra (factor humano).
- Imperativos económicos locales (mercado y comercialización).

Según la conformación estructural, los invernaderos se pueden clasificar en:

- Planos o tipo parral.
- Tipo raspa y amagado.
- Asimétricos.
- Capilla (a dos aguas, a un agua).
- Tipo diente de sierra.
- Tipo túnel o semicilíndrico.
- De cristal o tipo Venlo [3].

## 1.1.2 INVERNADERO TIPO DIENTE DE SIERRA

El invernadero en el que se trabajará como se muestra en la figura 1.2 es de tipo diente de sierra, la principal característica de este tipo de invernadero, es su gran capacidad de ventilación natural, esto, por sus altas ventilas laterales y amplias ventilas cenitales.

Estos invernaderos, contaban con una techumbre única inclinada en ángulos que variaban entre 5° y 15° (orientados en sentido este-oeste y con presentación del techo hacia la posición del sol - norte para el hemisferio sur-). El acoplamiento lateral de este tipo de invernaderos dio origen a los conocidos como “dientes de sierra”. La necesidad de evacuar el agua de precipitación, determinó una inclinación en las zonas de recogida desde la mitad hacia ambos extremos [4].

Cumple con las siguientes características.

- Ideal para climas con altas temperaturas y con alta humedad relativa.
- Soporta carga de cultivo y vientos de hasta 120 km/h.
- Tiene una excelente relación de área de ventilas/área cubierta.
- Por su sistema de ensamble y fabricación, es un modelo de fácil instalación.
- Este modelo, permite una fácil automatización de su sistema de cortinas.

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.



Figura 1.2. Invernadero Tipo Diente Sierra. Fuente: Elaboración propia de los autores (Noviembre, 2013)

## 1.2 CONTROL CLIMÁTICO EN INVERNADEROS

### 1.2.1 SITUACIÓN ACTUAL EN LA AGRICULTURA Y CONTROL CLIMÁTICO

Los factores climáticos que afectan a la producción agrícola son: luz, temperatura, humedad, concentración de CO<sub>2</sub>, viento y lluvia. Cuanto más control tengamos sobre ellos, el éxito y la seguridad del agricultor en su actividad productiva se verá incrementada.

En el interior de un invernadero, los factores climáticos afectan de diferente manera sobre el cultivo, de modo que los podemos controlar incidiendo en distintos puntos. La variación de parámetros tales como la luz, la temperatura o la concentración de CO<sub>2</sub> afecta de forma directa sobre la fotosíntesis de la planta, de modo que los procesos de respiración y división celular se ven alterados de algún modo. Por otro lado, con la aplicación de agua y de nutrientes podemos influir sobre la temperatura de las raíces y la humedad del aire, lo que implica una variación en la división y en el crecimiento celular.

Con el control de los factores climáticos obtendremos un incremento de la calidad y de producción, aumentando la rentabilidad del cultivo, también podremos producir en épocas extremas de frío y de calor, en las que mermaba la calidad y producción.

### 1.2.2 VARIABLES A CONTROLAR EN UN INVERNADERO

Las variables que se pueden controlar en un control climático son:



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

## 1.2.2.1 TEMPERATURA

La temperatura en el interior del invernadero y de las propias plantas, incide de manera directa sobre el proceso de la fotosíntesis, de modo que el equilibrio respiración-transpiración se ve afectada. Es por ello que las elevadas temperaturas, provocan pérdidas de producción y calidad. Sin embargo, la variación de la temperatura se encuentra estrechamente relacionada con la humedad.

## 1.2.2.2 HUMEDAD

Las oscilaciones higrométricas en un invernadero son elevadas, produciéndose condiciones de saturación durante la noche (condensación) y disminuyendo durante el día. Por un lado, los excesos provocan el desarrollo de enfermedades, por otro, los cambios prolongados de humedad pueden producir situaciones de estrés en la planta. Una buena gestión de la ventilación no es suficiente para obtener niveles de humedad adecuados, pero si la apoyamos con la calefacción (para reducir humedad) podremos conseguirlo [5].

## 1.2.2.3 LUZ

La radiación solar es la fuente de energía para el crecimiento y desarrollo de las plantas y el principal insumo de la bio-productividad vegetal. Sin embargo, durante los meses de invierno, la luz constituye generalmente el principal factor limitante de la producción. Por el contrario, en verano supone un incremento de la temperatura en el interior del invernadero y del propio cultivo.

## 1.2.2.4 CO<sub>2</sub>

Al amanecer los niveles de CO<sub>2</sub> son más o menos aptos. A partir de ese momento sería beneficioso el aporte de CO<sub>2</sub>, distribuyéndolo con una red especial o simplemente ventilando para conseguirlo del exterior, lo que resulta insuficiente.

La fertilización carbónica que mantenga los niveles de CO<sub>2</sub> en el ambiente, produce aumentos del orden del 15 - 25 %. Mediante el aporte de CO<sub>2</sub> y un buen control de la ventilación podemos obtener los niveles mínimos entre 350 y 400 ppm. Sin embargo, debido al elevado costo del CO<sub>2</sub>, junto con las necesidades de ventilar durante el día, nos lleva a mantener los niveles mínimos adecuados. El aporte de CO<sub>2</sub> se realizará mediante un tanque de CO<sub>2</sub> puro, repartido por canalizaciones, o aprovechando los gases de combustión de una caldera o de generadores de aire de combustión directa.

## 1.3 JITOMATE

El jitomate, es la especie hortícola más cultivado tanto a cielo abierto como en la agricultura protegida en invernaderos como se muestra en la figura 1.3, el jitomate es un cultivo rentable, pues cumple con los dos requisitos indispensables para que un producto tenga esa características, por un lado, tiene un alto potencial de rendimiento desde 4 hasta 25 kg por cada metro cuadrado dependiendo de la experiencia del productor y nivel tecnológico.

Por otro lado tiene un alto consumo e incremento constante, ya que el consumo per cápita de los mexicanos en el 2010 fue de 25 kg, pero si se tratara de alcanzar a los italianos que su consumo per cápita fue de 130 kg nos hacen falta 105 kg debido a que los mexicanos solo lo consumimos como condimento, es decir para darle sabor al arroz, a las sopa y a los guisados, solo algunos estratos de

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

la sociedad lo consumen en ensaladas y salsas, pero deberíamos de consumirlo como alimento, pues el jitomate contiene vitamina C, potasio y licopeno este último es el que le da el color rojo a los jitomates y que al consumirlo limpia al organismo de toxinas y radicales libres causantes de infinidad de enfermedades degenerativas como el cáncer y la vejez prematura entre otras, por lo que es importante que los consumidores se enteren de estas cualidades para que el consumo se incremente [6].



Figura 1.3. Jitomate. Fuente: <http://www.sagarpa.gob.mx> (Septiembre, 2013)

Requerimientos;

- La temperatura de desarrollo se sitúa en 23°C durante el día y entre 13-17 °C durante la noche.
- La humedad relativa oscila entre un 60 y 80%

Luminosidad: Niveles de radiación diaria alrededor de 0.85 MJ por metro cuadrado, son los mínimos para la floración y cuajado

Suelo: La planta de tomate se puede cultivar en cualquier tipo de suelo, pero se prefieren suelos profundos, margosos y bien drenados. Lo ideal es un suelo ligeramente ácido con un pH de 6.2 a 6.8 aproximadamente [1].

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

## 1.3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

La planta mide de 50 cm a un metro de altura, el fruto es una baya ovalada, redonda o periforme. Su tamaño va desde pequeños frutos del tamaño de una cereza, hasta enormes frutos de 750 gr.

Clasificación del jitomate:

Existen tres maneras de clasificar el jitomate, según su forma, madurez y color. De acuerdo a su forma, existen 5 tipos, del más pequeño al más grande: cherry, saladette, tipo pera, bola estándar y bola grande. Como se muestra en la figura 1.4. De madurez temprana se cosechan a los 55 - 65 días. De mediana maduración se consideran de 66 - 80 días, los de mayor maduración requieren más de 80 días. Existen de color rojo y amarillo;

**Saladette (Roma).** Variedad italiana para conserva de tomate pelado, fruto pequeño bi o trilobular, forma de pera, tamaño homogéneo de los frutos [1].



Figura 1.4. Tipos de Jitomate. Fuente: <http://www.sagarpa.gob.mx> (Septiembre, 2013)

## 1.3.2 DIFERENTES TIPOS DE AFECCIONES EN EL JITOMATE

Los parámetros y condiciones climáticas más importantes a considerar en la producción de jitomate bajo un invernadero, son temperatura, humedad relativa, concentración luminosa y CO<sub>2</sub>. Existen diversos factores que pueden modificar la producción y alterar el crecimiento, causando daño al cultivo, entre los más destacados se encuentran las plagas y algunos padecimientos como se muestra en la tabla 1.1 ocasionados por la presencia de patógenos.



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Tabla 1.1. Diferentes Padecimientos en la Producción del Jitomate. Fuente: <http://www.sagarpa.gob.mx> (Septiembre, 2013)

Nombre	Síntomas	Causas de enfermedad	Recomendaciones para eliminar la afección.
Pudriciones radicales	Evitan la germinación de la semilla y causan la muerte de las plántulas.	Las condiciones que favorecen su desarrollo son; exceso de humedad por suelo mal nivelado con drenaje pobre o suelo pesado y temperatura de 12 °C a 17 °C.	Fumigar el suelo con bromuro de metilo a dosis de 1 lb por 10 metros cuadrados o un kg por metro cúbico de volumen de suelo.
Pudrición de cuello y raíz	Uno de los daños más frecuentes en tallo y ramas es; lesiones alargadas a manera de tizón de color café oscuro a negro, que en muchos de los casos inicia en el cuello de la planta o en las ramas que están en el suelo.	La condición que favorece a su desarrollo es el exceso de tiempo de cultivo a condiciones que favorecen a la producción de zoosporas (entre 48 y 96 horas).	Es conveniente practicar rotación de cultivos al menos por 2 o 3 años con plantas no hospedantes, también se recomienda evitar los excesos de humedad, las plantaciones densas y eliminar residuos.
Marchitez	El primer indicio aparece al inicio de la floración o formación de los primeros frutos, y es un color amarillento de las hojas inferiores, las cuales gradualmente se marchitan, mueren adheridas a las plantas y posteriormente caen al suelo.	Puede ser diseminado por suelo contaminado, por agua de lluvia, implementos agrícolas, por la semilla, trasplantes y agua de riego. El daño es más intenso de 21 a 35 °C, las plantas mueren de entre 2 y 4 semanas después de la infección.	Para la prevención se recomienda tratar la semilla con agua caliente por 20 minutos a 50 °C, que elimina al patógeno. Se puede fertilizar adecuadamente, dar riegos ligeros y frecuentes, para tener la humedad constante en el suelo.
Pudrición de la corona y raíz	Las plantas afectadas presentan una necrosis vascular, de color café chocolate en el tallo, que se extiende hasta 25 cm sobre la línea del suelo, en la raíz principal hay una pudrición seca y de numerosas lesiones de color gris café.	Es causada por un hongo que generalmente aparece en suelos esterilizados y la temperatura adecuada para la expresión de la enfermedad oscila entre 15 y 20 °C	En invernaderos, se recomienda eliminar las esporas mediante aspersiones de formol a toda la estructura del invernadero, incluso el techo.



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Como se muestra en la Tabla 1.1 se dan algunas recomendaciones para el manejo y eliminación cuando se tenga alguna afección ocasionado por algún factor mencionado anteriormente.

## 1.3.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS PARA EL CULTIVO DEL JITOMATE DENTRO DEL INVERNADERO

El jitomate es una planta termo periódica diaria, es decir, requiere de una oscilación de temperatura entre el día y la noche de entre 12 y 17°C, que favorece su crecimiento y formación de mayor número de frutos.

La temperatura durante el día oscila entre los 22 y 24°C y varía en función de cada una de sus etapas fenológicas, para germinación requiere de 25°C, en crecimiento 20°C, en floración 24°C, en fluctuación requiere 25°C y en maduración requiere 22°C [7].

## 1.4 EQUIPOS PARA EL CONTROL CLIMÁTICO EN INVERNADEROS

En el mercado existen empresas dedicadas a la venta de equipos para invernaderos, desde la estructura, formas, materiales para su construcción, equipos para el riego y herramientas para el cultivo como; abonos, fertilizantes, incluso las propias semillas para cultivar. Existen empresas que no solo se dedican al diseño y construcción de los invernaderos sino también a la venta de equipos para la automatización, teniendo tecnologías para sistemas de riego manual y automático, control de clima, luminosidad, calefacción, dosificación de fertilizantes, enfriamiento, etc. cada una de estas empresas se dedica a diferentes variables o acciones que están presentes en un invernadero.

Estas empresas tienen en común lo que se denomina Control climático, el cual es un sistema esencial para el cultivo en un invernadero en donde se monitorea las variables principales (Temperatura, Humedad, Luminosidad y CO<sub>2</sub>), además de tener sus acciones de control para la activación de ventiladores, calefactores, bombas, etc. Dependiendo de la complejidad del sistema de control climático, hay empresas que pueden mostrar en un software el invernadero y el proceso del cultivo en una computadora para el monitoreo y el control de las variables, adecuándolas a las especificaciones que se requieran, dependiendo del cultivo que se desee obtener.

A continuación se hace una breve descripción de las empresas dedicadas al control climático en invernaderos:

### 1.4.1 EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE INVERNADEROS

METALISER: Es una empresa 100% mexicana especializada en el diseño, fabricación e instalación de invernaderos agrícolas industriales así como en el equipamiento de los mismos con sistemas de riego y control de clima (teniendo equipos de la marca Priva), plástico y accesorios. Esta empresa se dedica principalmente a:

Sistema de dosificación de fertilizantes, este sistema inyecta las soluciones fertilizantes directamente en el caudal o flujo de riego principal. Provee a los cultivos los fertilizantes deseados asegurando un crecimiento. En la figura 1.5 muestra un equipo que realiza esta función.

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.



Figura 1.5. Sistema de Dosificación de Fertilizantes. Fuente: <http://www.metaliser.com> (Octubre, 2013)

Sistemas de Tratamiento de Agua.- Este tipo de sistema está diseñado para que realice una eficiente desinfección del agua de riego para el cultivo. La desinfección del agua de drenaje y de superficie, permite el reciclaje del agua y/o fertilizantes, llevando consigo un ahorro considerable. En la figura 1.6 muestra un equipo que realiza esta función.



Figura 1.6. Sistema de Tratamiento de Agua. Fuente: <http://www.metaliser.com> (Octubre, 2013)

Sistemas de Control de Riego y Clima.- Este sistema adquiere las mediciones a través de los sensores de temperatura y humedad relativa en el interior de invernadero y con base a estos, se activan los sistemas incluidos en el invernadero para mantener los parámetros establecidos por el controlador además de la activación del sistema de riego. Dependiendo de la complejidad que se quiera tener en el invernadero Metaliser cuenta con equipos de software que permite ver el invernadero y sus procesos de forma gráfica en una computadora, como se observa en la figura 1.7.

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

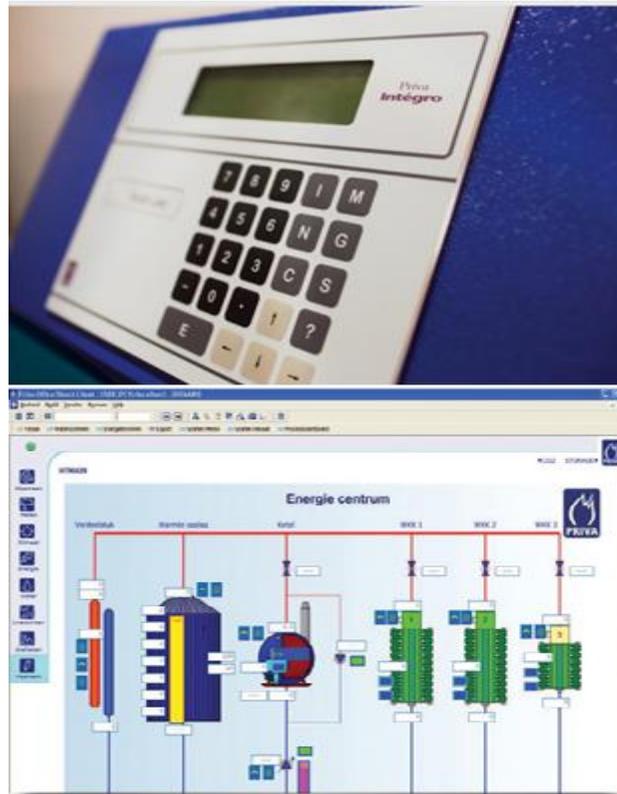


Figura 1.7. Sistema de Control de Riego y Clima. Fuente: <http://www.metaliser.com> (Octubre, 2013)

Calefacción y Enfriamiento.- Estos equipos están diseñados para proporcionar una distribución uniforme de la temperatura. Pueden ser operados estos equipos como; calentador o recirculador de aire para homogenizar la temperatura y humedad dentro del invernadero. En la figura 1.8 muestra un ventilador y un calefactor.



Figura 1.8. Calefactor y Ventilador. Fuente: <http://www.metaliser.com> (Octubre, 2013)



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.



Metaliser cuenta con equipos de la marca:

PRIVA MAXIMIZER.- Es un Sistema de control de riego y clima.

Descripción: Está diseñado específicamente para invernaderos, controla hasta 4 módulos. Es un sistema integrado y de manejo sencillo.

Especificaciones:

- Se obtienen los datos de la estación meteorológica (clima exterior) y de los sensores de temperatura y humedad relativa (interior de invernadero).
- Con base a estos, se activan los sistemas incluidos en el invernadero para mantener los parámetros establecidos.

PRIVA INTÉGRO.- El cerebro inteligente para la administración de su invernadero.

Descripción: Está desarrollado para encargarse de toda la administración de energía del invernadero.

Especificaciones:

Cuenta con un elevado nivel de automatización. PRIVA Integro tiene una solución diseñada para cada situación (empresas pequeñas o grandes, situaciones simples o complejas, etc.).

Beneficios:

- Administración y control de la producción y/o consumo de electricidad.
- Equilibrio de oferta y demanda.
- Administración y control del riego de una manera avanzada.
- Integración de temperatura inteligente.
- Control de ventilación y climatización con una regulación.
- Sensores para condiciones de crecimiento.
- Temperatura de la planta bajo control.

ECOHEATER.- ofrece sistemas de calefacción para invernaderos reconocidos por su calidad, eficiencia y bajo consumo de energía.

Descripción: Proporciona una distribución uniforme de la temperatura al interior del invernadero, puede ser operado como calentador o recirculador de aire para homogenizar la temperatura y humedad dentro del invernadero. Cuenta con un sistema de control electrónico para monitorear las presiones del gas.

Beneficios:

- 99% de eficiencia en la combustión.
- Bajo consumo de energía.
- Control automático del proceso de combustión e ignición.
- Fácil manejo.
- Avanzado sistema de seguridad y alarmas.

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

ECOFAN.- Sistema de ventilación forzada.

Descripción: Este equipo es esencial para la homogenización del clima dentro del invernadero, es un recirculador de costo accesible, fácil instalación y gran capacidad de movimiento de aire. Está fabricado con materiales que soportan las condiciones más extremas dentro de un invernadero. Metaliser cuenta con personal certificado por Priva (empresa reguladora del clima en invernaderos), para realizar instalaciones y servicio, además de un amplio centro de refacciones en Monterrey y Guadalajara [8].

PRIVA.- Es una empresa internacional con sucursales alrededor de todo el mundo. A escala mundial reflexionamos sobre los campos con áreas de oportunidad y tomamos acciones a nivel local. Priva tiene 7 oficinas ubicadas en Europa Occidental (Bélgica, Alemania, Gran Bretaña, Escandinavia), Canadá, México, y China. Gracias a estas oficinas, junto a la red mundial de socios y distribuidores. Priva regula el clima del invernadero con gran precisión; la luz, la temperatura, humedad del ambiente, y concentración de CO2 debe estar bien sincronizados. Además, PRIVA puede anticiparse a las influencias del viento, la lluvia y el sol sobre el clima interior [9].

HARNOIS.- Es una empresa canadiense con sucursales en México que se dedican a diseñar las estructuras de invernaderos incluyendo el equipamiento necesario para estos. Harnois se dedica principalmente a:

Control Climático.- Es un sistema que monitorea los parámetros definidos y corrigiendo automáticamente cualquier anomalía detectada para la obtención del clima deseado. La diferencia entre los diferentes modelos de sistema de control climático que ofrece Harnois, radica en el número de parámetros y equipo que el dispositivo puede controlar para regular el clima. Además, algunos controladores climáticos permiten utilizar la información obtenida de fotoperiodo, lluvia, humedad así como una serie de factores que influyen el crecimiento y la productividad de las plantas. Permitiendo así una gestión aún más precisa del clima. En la figura 1.9 se muestra un ejemplo de sus equipos que ofrece.



Figura 1.9. Equipo de Control Climático de Harnois. Fuente: <http://www.harnois.com> (Octubre, 2013)

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Harnois ofrece avanzados sistemas de iluminación fotosintética, los cuales influyen en el rendimiento y calidad de las plantas cultivadas en invernadero. Para cada proyecto, las necesidades en materia de iluminación se calculan de manera precisa para suministrar un sistema adecuado. Dispone de varios modelos de lámparas, de diferentes potencias con reflectores variados, todo para un control óptimo de la luminosidad. En la figura 1.10 se muestra un invernadero con lámparas de Harnois.



Figura 1.10. Sistema de Luminosidad. Fuente: <http://www.harnois.com> (Octubre, 2013)

Calefacción.- Como se muestra en la figura 1.11, el sistema de calefacción de un invernadero usualmente consiste de dos componentes principales: el generador y el distribuidor de calor. Los dos elementos comúnmente utilizados para la distribución de calor son el agua y el aire. Para la generación de calor, hay varias opciones disponibles, las cuales generalmente están determinadas por la naturaleza del combustible a utilizar como: gas natural, propano, biomasa, diesel, biodiesel, etc.



Figura 1.11. Sistema de Calefacción. Fuente: <http://www.harnois.com> (Octubre, 2013)



## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

---

El control centralizado del equipo facilita la precisión en el control de la calefacción, iluminación, riego y de otros componentes utilizados en el manejo del invernadero. HARNOIS clasifica en tres categorías el control climático:

- Los termostatos simples.
- Los controles de entrada de gama.
- Los controles pilotados por ordenador.

Todos facilitan el trabajo de los productores al monitorear los parámetros definidos y corrigiendo automáticamente cualquier anomalía detectada para la obtención del clima deseado [10].

Dichas empresas se dedican a la venta e instalación de sistemas de control climático en invernaderos de todo tipo, estos equipos van desde el sensor, el controlador, hasta los ventiladores, tipos de lámparas, formas de riego, etc. Todo depende de lo que el cliente requiera y el nivel de automatización que considere conveniente para que la producción sea mayor y los ingresos obtenidos puedan cubrir los gastos realizados. La adquisición de alguno de estos productos tiene las siguientes problemáticas a considerar:

- 1) Los recursos financieros del propietario del invernadero no son suficientes para la implementación de ciertos equipos. Debido a que si es la primera producción del invernadero, todo el capital invertido en la siembra se necesitaría recuperar para poder tomar alguna decisión sobre adquirir algún equipo, además de tener que realizar un estudio para saber que opciones se pueden utilizar con respecto a instrumentación y equipos.
- 2) Las tiendas de distribución de alguno de estos equipos no se encuentra cerca del invernadero o incluso son extranjeras algunas, por lo que se tendría que considerar un pago extra por el envío hasta la ubicación del invernadero.
- 3) De la misma forma, para el mantenimiento o alguna falla de algún dispositivo se tendría que llamar a servicios técnicos para que fueran hasta el invernadero y así poder examinar la o las fallas que tenga el equipo..
- 4) Los tiempos de espera en cuanto a la atención y mantenimiento del equipo serían amplios por encontrarse a una distancia considerable, lo que afectaría la producción y habría pérdidas económicas.

Una vez detectadas las fallas, el costo en refacciones y la mano de obra serían elevados por tratarse de equipos específicos y que solo pueden ser manipulados por personal capacitado de la empresa en cuestión.

En el capítulo siguiente se describen las alternativas de solución para la automatización del invernadero.



# CAPÍTULO 2

## DESCRIPCIÓN Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL INVERNADERO

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

## 2.1 DESCRIPCIÓN DEL INVERNADERO

El cambio de las condiciones climáticas durante los últimos años hace necesario utilizar invernaderos, el cultivo bajo invernadero ha permitido obtener producciones de primera calidad y mayores rendimientos, en cualquier momento del año, a la vez que permiten alargar el ciclo del cultivo, permitiendo producir en las épocas del año más difíciles y obteniéndose mejores precios. El manejo de los factores climáticos y condiciones adecuados para el cultivo refleja una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final.

### 2.1.1 CONDICIONES ACTUALES DEL INVERNADERO

En el municipio de Zumpango estado de México se tiene un invernadero de 500 metros cuadrados, en el cual se cosecha jitomate. La productividad promedio del invernadero es de 5000 kilos mensuales, teniendo en cuenta que el crecimiento de la mata es de tres meses y los siguientes tres meses son de cosecha, da como resultado una producción anual de 30 000 kilos.

Existen diferentes aspectos, que pueden influir en la productividad y los costos de operación de un invernadero. En cuanto al proceso del cultivo de jitomate, se debe tomar en cuenta la temperatura dentro del invernadero, sin embargo dicha variable es la que influye directamente en el crecimiento y desarrollo del cultivo.

La temperatura durante el día oscila entre los 15.5 y 24°C y entre 12 y 15°C durante la noche. En este momento se cuenta con un operario, el cual con base a su experiencia y conocimientos toma las decisiones respecto a los ajustes necesarios a realizar, es decir, prende las lámparas cuando la temperatura es baja y abre las cortinas cuando la temperatura dentro del invernadero es alta.

### 2.1.2 DIMENSIONES DEL INVERNADERO

Como se muestra en la figura 2.1 se denotan las dimensiones en cuanto a altura, ancho y largo del invernadero, así como la forma de este.

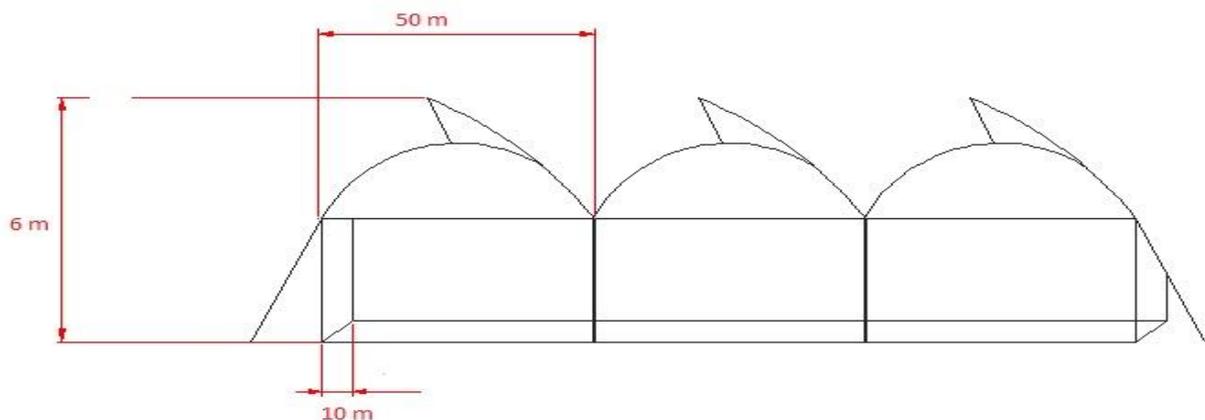


Figura 2.1. Dimensiones del Invernadero. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en la investigación de campo (Noviembre, 2013)



## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

En la figura 2.1 se observan las dimensiones del invernadero diente de sierra, en este proyecto se asignó un área de trabajo de 100 m<sup>2</sup>, del área total del invernadero. Como se muestra en la tabla 2.1 se denotan las especificaciones del invernadero diente de sierra.

Tabla 2.1. Especificaciones de la Estructura del Invernadero Diente de Sierra. Fuente: <http://www.rinver.com.mx> (Noviembre, 2013)

Estructura	
Columnas	Ptr galv. Cal 14 2"
Arcos	Ptr galv. Cal 14 1 3/4"
Larguero	Ptr galv. Cal 14 1 1/2"
Soporte cultivo	Cable 3/16, 1/8.
Retenida	Opcional
Canalón	Lamina galv. Cal 16 c/s en laterales
Cubierta	
Plástico	Cal. 720, 2, 4 años
Malla	40X25 – 25X25
Cortinas	Mecanizadas
Sistema	Calefacción y riego

El invernadero en el que se trabajó es tipo diente de sierra, como se muestra en la figura 2.2, la imagen muestra la cara lateral del invernadero.

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.



Figura 2.2.Cara Lateral del invernadero. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en la investigación de campo (Noviembre, 2013)

La figura 2.3 muestra la parte de enfrente del invernadero, así como la forma de diente de sierra característica primordial en este tipo de invernadero.



Figura 2.3.Parte Frontal del Invernadero. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en la investigación de campo (Noviembre, 2013)

El invernadero actualmente produce 7 kg por cada metro cuadrado, la variable a controlar dentro del invernadero, es la temperatura, porque es una variable de suma importancia para el crecimiento, desarrollo, maduración y colación del cultivo de jitomate, es importante mencionar que las demás variables como son; humedad, luminosidad y  $\text{CO}_2$ , son importantes para el cultivo, con la automatización del invernadero se pretende que la producción crezca de manera considerable de 2 a 3 veces la producción actual.

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

## 2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL INVERNADERO

Macro localización geográfica del proyecto; Ubicación del invernadero está en el municipio Zumpango, Estado de México como se muestra en la figura 2.4.

### Zona Metropolitana del Valle de México



Figura 2.4. Macro Localización Geográfica. Fuente: <http://www.cuentame.inegi.org.mx> (Octubre, 2013)

## 2.3 DESCRIPCIÓN ACTUAL DEL INVERNADERO

Es de suma importancia para los productores que cumplan con la expectativas del consumidor, para ello es necesario producir un producto de excelente calidad, el invernadero cuenta con las condiciones básicas para controlar la temperatura, el cual tiene dos ventiladores como se muestra en la figura 2.5 y dos calefactores los cuales se muestran en la figura 2.6, los cuales no son utilizados, actualmente se monitorea el aumento y decremento de la temperatura basados en la experiencia del operario.



Figura 2.5. Ventiladores Instalados en el Invernadero. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en la investigación de campo (Noviembre, 2013)

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.



Figura 2.6. Calefactores Instalados en el Invernadero. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en la investigación de campo (Noviembre, 2013)

Cuando aumenta la temperatura simplemente el operario abre las cortinas del invernadero, como se muestra en la figura 2.7, en caso contrario si decrece se encienden las lámparas las cuales son utilizadas como lámparas emisoras de luz y disipadoras de calor. Para el manejo del riego se utiliza el riego por goteo el cual es suministrado por una bomba centrífuga obteniendo el líquido del suministro de la red municipal.



Figura 2.7. Apertura y Cierre de las Cortinas. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en la investigación de campo (Noviembre, 2013)

El proceso productivo para el cultivo del jitomate da comienzo con;

Establecimiento del semillero en el cual se utilizan charolas de poliestireno de 200 cavidades que se llenan con sustrato mojado (Peat Mohs), después se colocan las semillas pro la cavidad cubriendo



## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

---

con un poco de sustrato mojado, se cubren con un plástico negro y se colocan en un lugar cálido para provocar la germinación de tres a cinco días. Una vez que se vislumbran plántulas se procede a quitar el plástico y se extienden las charolas para que no haya elongación y así tener buenas plantas.

Se procede a regar las plantas, a las dos semanas se procederá aplicar una solución nutritiva al 5% para ir alimentando a las plantas.

Posteriormente se acude al trasplante que previamente a esta actividad se dará un riego a las camas de siembra, dichas camas están separadas de 45 a 50 cm para que a las plantas les pueda entrar luz y aire adecuado para su desarrollo y crecimiento, se hace un pequeño orificio por donde se va a introducir el cepellón con la plántula, tapando la raíz y cuidando que esta no se maltrate. Esta actividad será realizada de preferencia en la mañana o en la tarde. Se aplicarán riegos para su manutención.

El tutorado se inicia a los 15 días después del trasplante, para lo cual se cortan tramos aproximadamente de 6m de hilo (rafia), el amarre debe ser de forma especial para que no se estrangule a la plántula, se amarra desde de la base de esta. En la medida que la planta va creciendo se tiene que ir guiando a la planta, cuidando de no maltratarla.

Se acude a la poda la cual es la eliminación de ciertas partes de la planta como son los tallos, hojas y/o frutos para mejorar el desarrollo de la planta, y consiste en la eliminación de brotes que salgan de las axilas de la hoja del tallo, esto evita perdidas de nutrientes, dando frutos de mayor tamaño y buena calidad, todo esto se realiza por el operario encargado del invernadero.

Esta actividad se realiza diario después de 25 días del trasplante hasta la cosecha del último fruto cosechado. La poda de las hojas consiste en eliminar las hojas maduras o con daños de plaga. A medida de que se va cosechando se podan las hojas inmediatamente debajo de cada racimo cortado.

Para la polinización se realiza mecánicamente moviendo las plantas, haciendo circular el aire que entra por las cortinas. La temperatura es un factor importante en la formación y liberación del polen, la temperatura en el día dentro del invernadero es de 15.5 a 24 °C, para esta medición se utiliza un termómetro bimetalico.

Otros factores fundamentales para la polinización es la radiación solar aprovechada durante el día para mantener la temperatura dentro del mismo y mantener una humedad relativa del 70%, la cual se monitorea con un higrómetro, dicho monitoreo se realiza cada que se acude al riego, solo se realiza en puntos estratégicos, es decir, en la parte superior, intermedia y parte superior del surco del plantío.

Para la formación del fruto esta ocurre de 70 a 90 días después del trasplante dependiendo de las condiciones climáticas adecuadas (temperatura y humedad relativa), cuando los frutos cambian de color verde a rojo lo que se le conoce como rayado de fruto se pre seleccionan por tamaños. La producción total se realiza de 8 a 12 cortes y tener un rango de 5 a 7 kg por planta.



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Durante la etapa de crecimiento se acude a la fertilización, la fertilización que se utiliza es la de Steiner la cual contiene la solución Nitrato de calcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), Nitrato de Potasio ( $\text{KNO}_3$ ), Sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), Sulfato de sodio ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), Ácido Fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ , 85% y densidad de  $1.7 \text{ m/ml}^{-1}$ ) y micronutrientes Ácido Bórico, Sulfato de Magnesio, Sulfato de Zinc, Sulfato de cobre, Molibdeno de Sodio y FE-Quelatado.

Para el manejo de plagas y afecciones para la planta se utiliza Cipermetrina a razón de 1 a 2 ml/L de agua y a los 14 días de aplicar demetoato 2 ml/L de agua. Para la etapa de la cosecha da inicio a los 90 días del trasplante, el fruto se cosechara cuando el fruto este en una coloración de naranja a rojo, el corte se hará cada ocho días dependiendo de la maduración y de los factores climáticos (temperatura y humedad relativa) dentro de invernadero.

Al realizar un análisis detallado de las condiciones actuales del invernadero, se asume que no cuenta con los requerimientos adecuados para el manejo de la temperatura, dicha condición climática es necesaria para el crecimiento, desarrollo y maduración del cultivo (jitomate), esta variable es de suma importancia tanto para el cultivo, como para el invernadero, lo que permite evitar plagas y una larga duración de la cubierta (plástico polietileno de alta densidad) del invernadero.

Por otro lado, con el control de la temperatura se obtendrá;

- Un incremento de la calidad y la producción.
- Aumentar la rentabilidad del cultivo.
- Producir en épocas extremas de frío y de calor.

## 2.4 PROPUESTAS DE AUTOMATIZACIÓN

Hoy en día los avances tecnológicos han progresado considerablemente lo que ha propiciado de disponer del manejo del clima que uno quiera tener, prácticamente en cualquier región geográfica, para aumentar la calidad, cantidad y efectividad de la producción en invernaderos. Además de que se vuelva una producción durante todo el año, disminuyendo costos del producto originando competitividad en el mercado.

Al hablar de automatización es la forma adecuada de interactuar variables y elementos para un fin específico, para esta propuesta se tomó en cuenta el parámetro a manejar (Temperatura) dentro del interior del invernadero, tomando en cuenta todos los elementos involucrados en el proceso para regular y mantener la temperatura.

Para el manejo adecuado de la temperatura en el interior del invernadero se diseñaron las siguientes propuestas, tomando como punto de partida el diagrama de bloques que se muestra en la figura 2.8. A partir de este diagrama se generaron las propuestas, para mantener la temperatura ideal dentro del invernadero, cuyo factor es de suma importancia para el desarrollo, crecimiento y maduración de la planta generando una mejor calidad del producto, en menor tiempo y a bajos costos, dichas propuestas se mencionan a continuación;

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

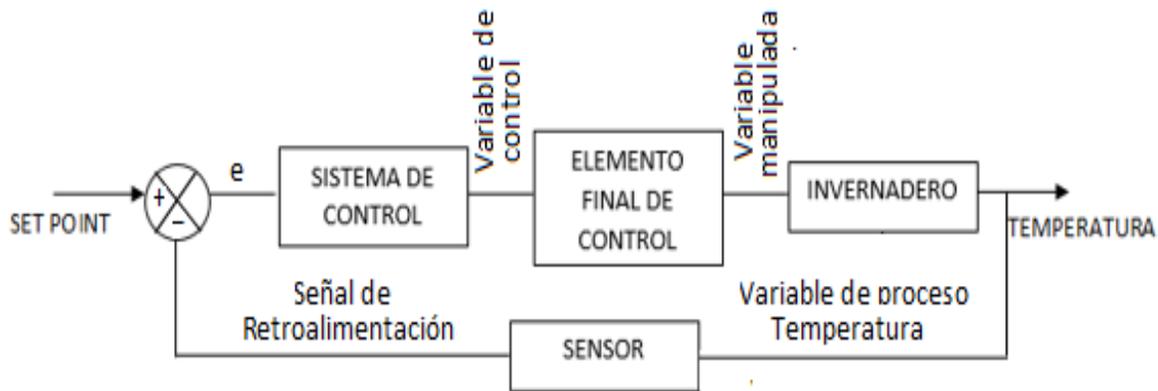


Figura 2.8. Diagrama de Bloques de Lazo Cerrado. Fuente: Elaboración propia de los autores basado en la investigación teórica (Diciembre, 2013)

El lazo de control comprende una señal de referencia o Set Point la cual podrá ajustarse a las necesidades requeridas. El siguiente bloque es el controlador, el cual recibe una señal del sensor (el sensor toma una muestra de la señal de salida) y realiza la comparación con el Set Point o valor deseado para efectuar una acción de control correspondiente en la planta (invernadero), la planta es el sistema a controlar y en este caso la variable a controlar es la temperatura.

## 2.4.1 PROPUESTA CON PIC

A partir del lazo de control cerrado de la temperatura se generó la siguiente propuesta; Para establecer el valor del Set Point se considerará la siguiente información; La temperatura ideal fluctúa entre los 17 y 24 °C durante el día, entre 13 y 17°C durante la noche [1], el controlador tomará una acción de control correspondiente como se mencionó anteriormente, dicho controlador se implementará por medio de un microcontrolador (PIC 16F877A como se muestra en la figura 2.9), cuyo valor será observado por medio de una LCD, el elemento final será el uso de calefactores y ventiladores para mantener la temperatura requerida, el dispositivo que estará midiendo la temperatura del invernadero será un sensor del tipo AD590 con una gran precisión y una rápida respuesta en la medición, la cual garantizará el valor de la variable medida.

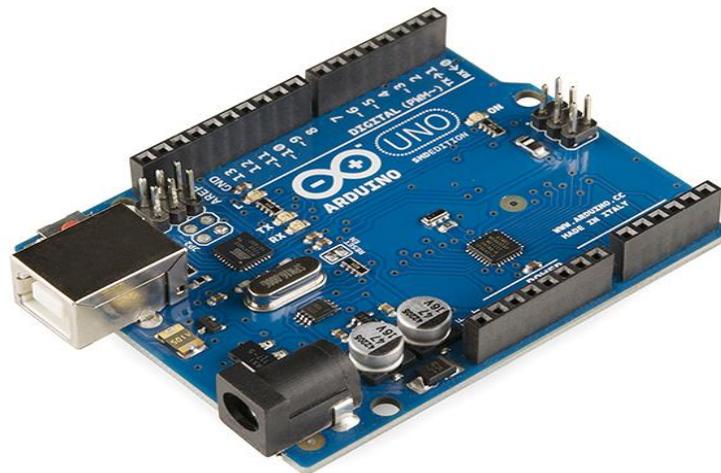
Microchip  
PIC16F877A



Figura 2.9. Microcontrolador PIC 16F877A. Fuente: <http://waihung.net> (Diciembre, 2013)

## 2.4.2 PROPUESTA CON ARDUINO

Una propuesta de solución para el diseño de un sistema de monitoreo y control de temperatura sería usando Arduino, mostrado en la figura 2.10, porque es una plataforma de hardware de código abierto, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales. Las ventajas de usar un Arduino es que el Hardware es sencillo de entender y de usar. No se requiere ser un experto en electrónica ni un especialista en microcontroladores para poder aprovechar las tarjetas. El Software se construye a base de bloques, igual que el hardware, al código se puede agregar un gran número de funciones. Por si fuera poco el software es gratis y las funciones también. Este Arduino se usaría como dispositivo que reciba la señal de medición de un sensor para luego tomar la acción correspondiente de control. La medición sería mostrada en una LCD 2X16.



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Figura 2.10.ArduinoUNO.Fuente: <http://www.arduino.cc> (Diciembre, 2013)

## 2.4.3 PROPUESTA CON PLC

Una de las ideas que se ha propuesto es la de utilizar un PLC (Controlador Lógico Programable), para el control de la temperatura del invernadero, se sugirió usar un dispositivo de la marca OMRON Systemac cpm1, mostrado en la figura 2.11, se consideró porque cumple con las características requeridas para el control y la automatización del invernadero, el cual tiene 24 entradas, 16 salidas, estas pueden mandar una señal eléctrica para la activación de los elementos finales de control en este caso el calefactor y el ventilador.



Figura 2.11.PLC. Fuente: <http://www.omronindustrial.com> (Diciembre, 2013)

## 2.4.4 PROPUESTA CON CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Para controlar la temperatura dentro del invernadero bajo las condiciones que requiere el cultivo de jitomate se tiene la idea de implementar un dispositivo ya existentes en el mercado e interconectarlos entre sí buscando los dispositivos adecuados que realicen las mismas acciones que se buscan. Este dispositivo es el Controlador de temperatura Shinko, como se muestra en la figura 2.12.



Figura 2.12.Controlador de Temperatura. Fuente: <http://www.shinko.com.mx> (Diciembre, 2013)



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Los controladores digitales de temperatura de Shinko, este controlador cuenta con entradas tipo termopar, cuenta con alarma y muestra la temperatura en un display. La ventaja que tiene este controlador es a prueba de polvos, un inconveniente es que no cuenta con gabinete, pero se puede solucionar construyendo el gabinete para ser instalado.

## 2.5 PROPUESTA DEL SENSOR

Un sensor es un dispositivo que convierte señales físicas en señales eléctricas ya sean de corriente o de voltaje que son interpretados por medio de un controlador para ser procesadas y efectuadas para controlar dicha variable física por medio de un elemento final de control. Como se muestra en la tabla 2.2 algunas características y comparaciones de los RTD y TERMOPAR.

Tabla 2.2. Comparación de Elementos Primarios de Medición RTD y Termopar. Fuente: <http://www.rockwellautomation.com> (Septiembre, 2013)

Consideración	RTD	Termopar
Precisión	Más Preciso	Menos Preciso
Rango de temperatura	-200 a 850 °C	-200 a 2000 °C
Costo	Más caro (2 o 3 veces más)	Más económico
Sensibilidad	Sensitivo en la base	Sensitivo en la punta
Velocidad de respuesta	Más lenta	Más Rápida
Fuente de alimentación	Requerida	No requerida
Auto calentamiento	Aplicable	No aplicable
Robustez	Menos conveniente	Más conveniente
Terminales de conexión	Normalmente cobre	Material del termopar unión de referencia
Salida	Puente de resistencias (Aprox. 0.4 $\Omega$ por °C)	Material base: aprox. 40 $\mu$ Volts por °C

De acuerdo a la tabla anterior se eligió utilizar un termopar, considerando que existen 10 tipos de termopares en la tabla 2.3 se muestran seleccionando para este proyecto un termopar tipo J, este sensor tiene un alto rango de medición, por ejemplo el tipo T puede llegar a medir hasta 300 °C y pueden soportar el ambiente brusco del invernadero.

Tabla 2.3. Tipos de Termopares y Rangos de Medición. Fuente: Manual de usuario del controlador de temperatura Shinko (Septiembre, 2013)

Termopares	Escala (°C)
K	-200 a 1370
J	-200 a 1000
R	0 a 1760
S	0 a 1760
B	0 a 1820



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

E	-200 a 800
T	-.199.9 a 400
N	-200 a 1300
PL-II	0 a 1390
C	0 a 2315

## 2.6 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Se generaron varias propuestas de diseño y una de implantación de un dispositivo, de las cuales se realizó un análisis a detalle para elegir cual se quedaría en el invernadero, a continuación se describe por qué se descartaron las propuestas y cuál fue la adecuada para ser implementada.

El usar un Arduino uno puede no ser tan factible de usar ya que al ser una tarjeta esta deberá estar protegida contra:

- Exceso de polvos
- Protegida contra exposición al sol
- Sometida a altas temperaturas
- Lejos de suministros de agua o cualquier líquido.

Analizando la propuesta de PLC, desde varios puntos de vista existen algunas desventajas en cuanto a la utilización del PLC junto con el termohigrómetro son;

Al utilizar esta instrumentación y el PLC en el ámbito económico no son factibles ya que su costo es elevado, hablamos cerca de los 10 mil a 13 mil pesos utilizando los algunos de los considerados económicos del mercado, además queda sobrado por el número de entradas y salidas que tiene este PLC con respecto a las que se podrían considerar en el invernadero. La propuesta del microcontrolador (PIC 16F877A) no es factible, debido a que no puede ser utilizada en ambientes como polvos, altas temperaturas, por las mismas razones que se mencionan para el Arduino.

Se realizó un detallado análisis de las propuestas generadas, la apropiada y conveniente para ser implementada en el invernadero, es la del uso del controlador de temperatura digital de la marca Shinko, ya que este es viable de usar porque cumple con los siguientes requisitos para la operación del control de la temperatura en el invernadero:

- 1) Cuenta con NEMA 4x
- 2) Temperatura ambiente estable de 0 °C a 50 °C
- 3) La humedad relativa ambiental no condensante del 35 al 85% RH

Se optó por utilizar el controlador Shinko de la serie JCS-33A, porque se tuvo la oportunidad adquirirlo físicamente sin costo alguno para poder utilizarlo en este proyecto, sin embargo se cotizó el precio del equipo para ser implementado en el costo total, además de que cumple con los requerimientos indispensables para controlar la temperatura en el invernadero de acuerdo con los siguientes requisitos, como se muestra en la tabla 2.4.



## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Tabla 2.4. Requisitos para Utilizar el Controlador Shinko en el Invernadero de Jitomate. Fuente: (Septiembre, 2013)

Requisito:	Justificación:
- Lugar con mínimo de polvo y sin presencia de gases corrosivos.	- Dentro del invernadero se tiene un cuarto especial donde se colocó el controlador y no hay existencias de gases corrosivos dentro del mismo.
- Ausencia de gases inflamables o explosivos.	- La alimentación de gas para el calefactor se encuentra por afuera del invernadero, totalmente alejado del controlador.
- Sometido a poca vibración y protegido contra golpes.	- El controlador fue montado en un tablero principal sosteniéndolo bajo una base.
- Sin exposición de los rayos solares y con una temperatura estable de 0 a 50°C.	- Dentro del cuarto especial en el invernadero, está cubierto para que los rayos del sol no afecten al controlador y la temperatura no sobrepasa los 30°C.
- Sin la presencia de agua, aceite, químicos o vapores	- Dentro del invernadero se tiene un cuarto especial donde se colocó el controlador y el sistema de riego no afecta al controlador.

Al utilizar un controlador de este tipo se pretende mantener la temperatura ideal para el cultivo propiciando que la producción crezca, disminuyan costos y que haya una producción durante todo el año, la implementación a detalle de este controlador se describirá en el capítulo siguiente.



# CAPÍTULO 3

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PARA EL INVERNADERO

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Este proyecto permitirá desarrollar un prototipo de bajo costo, que sea adaptable a los requerimientos del invernadero y la zona de ubicación, así mismo se pueda perfilar como una opción para los productores agrícolas y sus cultivos, mejorándolos técnicamente y económicamente.

El sistema consiste en un dispositivo digital, que mide la temperatura en el interior del invernadero, con el fin de mantener la temperatura en un valor deseado, establecido por disposición del manejo agronómico para la producción de jitomate en invernadero (ICAMEX), en dicho controlador se aplicará un lazo de control cerrado mencionado en el capítulo anterior.

Para ello se utilizó un sistema de control, el cual está compuesto por un dispositivo digital de la marca Shinko serie JCS-33A (controlador de temperatura), un elemento primario y secundario de medición (sensor y transmisor de temperatura).

Como elementos finales de control se utilizaron;

- 1-Calefactores
- 2-Ventiladores

## 3.1 ESTRUCTURA

Para establecer la estructura y poder realizar el sistema automatizado en el invernadero, se realizó un detallado análisis de las propuestas planteadas en el capítulo anterior, con ello se llegó a la conclusión, que la adecuada para este diseño es la siguiente como se muestra en la figura 3.1, se ha de mencionar que tal estructura está sujeta a la norma NOM-007-STPS.

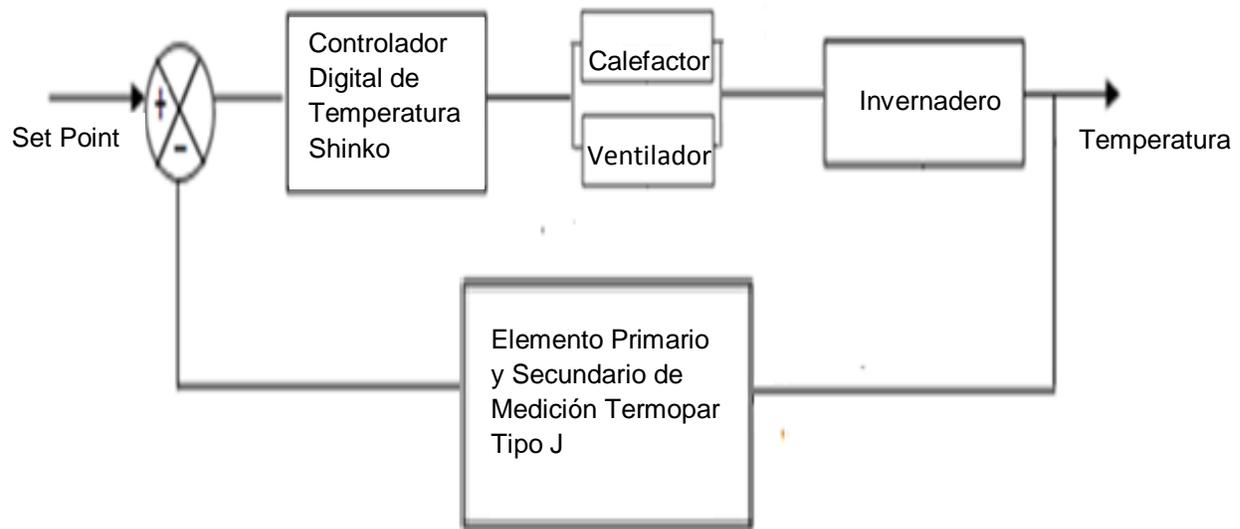


Figura 3.1. Estructura de los Elementos para el Diseño de la Automatización del Invernadero. Fuente: Elaboración propia de los autores basado en la investigación teórica (Enero, 2014)

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

## 3.2 TERMOPAR TIPO J

Un termopar es un sensor de temperatura, mostrado en la figura 3.2, consiste en dos conductores metálicos diferentes, unidos en un extremo, denominado junta caliente suministrando una señal de tensión eléctrica que depende directamente de la temperatura; este sensor puede ser conectado a un instrumento de medición de Fem (fuerza electro motriz) o sea un milivoltímetro o potenciómetro. Un termopar no mide temperaturas absolutas, sino la diferencia de temperatura entre el extremo caliente y el extremo frío. Este efecto termoeléctrico hace posible la medición de temperatura mediante un termopar. Los conductores del termopar tipo J son de Cobre/Cobre-Níquel (constantán) tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación. Su rango de medición es de -200 a 1000 °C, una alimentación de 24 Vcc y a la salida genera una salida de 0 - 20 mA ó 4 - 20 mA.



Figura 3.2. Termopar Tipo J. Fuente: <http://skyfort.com> (Enero, 2014)

## 3.3 CONTROLADOR DE TEMPERATURA – SHINKO SERIE JCS-33A

Como se muestra en la tabla 3.1 el controlador digital de temperatura de la familia JCS-33A, tiene las siguientes características, mostrado en la figura 3.3;

Tabla 3.1. Características del Controlador Digital de Temperatura Shinko - JCS-33A. Fuente: <http://www.shinko.com.mx> (Diciembre, 2013)

Características	
	Protección NEMA 4X[11]
Estructura	Caja Negra
	Dimensiones Externas: 48 x 48 mm
Alarmas	1 salida de alarma estándar con opción a una segunda alarma
Entradas	10 tipos de termopares
	1 tipo de RTD, 2 entradas de corriente

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

	4 entradas de voltaje
	Relevador: 1 contacto NA
Salida	12 Vcc
Control Auto / Manual	Permite tomar control de su proceso en cualquier momento.
Visualizador LED	4 dígitos rojos para PV, 4 dígitos verdes para SV[12]



Figura 3.3. Controlador de Temperatura Shinko. Fuente: <http://www.shinko.com.mx> (Diciembre, 2013)

## 3.4 CALEFACTOR

El sistema de calefacción de un invernadero usualmente consiste de dos componentes principales: el generador y el distribuidor de calor.

Hay dos métodos principales para la distribución de aire caliente: convección aplicada por impulsores (hélices) o conducción con polytubos (mangas), que pasan directamente por el cultivo, establecida por la NMX-E-255-CNCP. Los principales combustibles utilizados para los calentadores son; el propano, gas natural y el biodiesel.

El calefactor de convección tiene las siguientes características como se muestran en la tabla 3.2; Datos Técnicos:

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Tabla 3.2. Características del Calefactor TGA. Fuente: <http://www.tgrok.com> (Diciembre, 2014)

Peso	67,0 Kg
Potencia Calorífica	100 kW
Potencia eléctrica nominal	800 W
Tensión	127 V
Flujo de aire	5.500 m <sup>2</sup> /h
Amper	6.29

La principal ventaja del sistema de calefacción por aire, como se observa en la figura 3.4, es de costo accesible y de fácil utilización, además de la implementación rápida y la generación de calor inmediata.



Figura 3.4. Calefactor por Convección. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en la investigación de campo (Noviembre, 2013)

## 3.5 VENTILADOR

Son equipos empleados para extraer calor acumulado dentro del invernadero, como se muestra en la figura 3.5, además de la acumulación de vapores, humo, polvo y todos los elementos que perjudiquen al cultivo.

El ventilador tiene las siguientes características como se muestra en la tabla 3.3;

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Tabla 3.3. Características del Ventilador. Fuente: <http://www.tgrok.com> (Diciembre, 2014)

Diámetro de la Aspa	20"
Voltaje	127 Vca
RPM	1600
Tiro	50 m
Amper	1.9
Potencia	241 W

El ventilador con ayuda de las ventanas laterales servirán para la ventilación del cultivo. El invernadero requiere un ventilador con las siguientes características:

- 1-Ubicación adecuada dentro del invernadero acorde a la norma NMX-E-255-CNCP.
- 2-Material resistente a las condiciones que se presentan dentro del invernadero Robustez (que no se deteriore rápidamente con las condiciones de humedad y temperatura), de acuerdo con la NOM 007.



Figura 3.5. Ventilador. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en la investigación de campo (Noviembre, 2013)

De acuerdo a lo mencionado en el capítulo 1 el invernadero cuenta con los calefactores y ventiladores que van acorde a las características de la norma NOM-007, los cuales no estaban instalados adecuadamente, basándose en la norma NMX-E-255-CNCP se realizó el acomodo de dichos equipos.

Para que se dé una calefacción y ventilación efectiva, es recomendable que la ubicación e instalación sea aproximadamente del 15% al 30% del piso a la altura del invernadero [13].

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Para conocer el valor de la ubicación correspondiente de los equipos se utilizaron las siguientes ecuaciones;

$$H_t * 30\% = H \dots\dots\dots ec.1$$

$$H_t - H = U \dots\dots\dots ec.2$$

Donde;

$H_t$  = Altura total del invernadero

H = Altura de ubicación

U = Ubicación del equipo en el invernadero

Tomando en cuenta que el invernadero tiene una altura total de 6m ( $H_t$ ) por lo que al sustituir los valores de la ecuación 1, la altura de ubicación (H) se encuentran en;

$$H = 6 * 30\% = 1.80 m \dots\dots\dots ec.3$$

Para conocer el valor de la ubicación de los equipos utilizamos la ecuación 2, sustituyendo los valores:

$$U = 6 m - 1.80 m = 4.2 m \dots\dots\dots ec.4$$

La ubicación de los equipos de acuerdo a la norma NMX-E-255-CNCP, se encuentran ubicados a 4.2m del nivel del piso. En la figura 3.6 se muestra la instalación adecuada de los equipos de acuerdo a los requerimientos de la norma.



Figura 3.6. Ubicación de los Equipos de Acuerdo a la Norma. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en la aplicación de campo (Enero, 2014)

El contactor y el relevador son dispositivos indispensables en la operación, protección y control de los motores eléctricos de corriente alterna y de corriente directa. Así como en la operación de



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

sistemas de alumbrado y de automatización de procesos industriales. Cuando hablamos del control de motores eléctricos se establecen dos tipos de circuitos eléctricos:

- El circuito de potencia.- suministra energía directamente a las terminales del motor.
- El circuito de control.- es aquel que manipula la energía suministrada al motor para su correcta operación.

## 3.6 CONTACTOR

El contactor se puede definir como un dispositivo diseñado para realizar funciones de conmutación repetida para la activación o desactivación de los circuitos eléctricos de potencia por medio de una señal de control eléctrica a distancia. Los contactores pueden ser clasificados como del tipo electromagnético y como del tipo de estado sólido. Los electromagnéticos, como los que se muestra en la figura 3.7, trabajan bajo el principio de inducción de Faraday, ya que son accionados cuando se energiza una bobina que forma parte de un electroimán.

El contactor Schneider Electric LC1D09 tiene las siguientes características como se muestra en la tabla 3.4;

Tabla 3.4.Especificaciones del Contactor LC1D09. Fuente: <http://www.schneider-electric.com.mx>(Enero,2014)

Potencia	4 kW
Corriente en AC-3 127 V	9 Amper
Corriente en AC-1 0<40°C	25 Amper
Contactos NA	1
Contactos NC	1

Para la elección del contactor se tomó en cuenta la corriente total de consumo del sistema, el cual se describe a continuación;

La corriente total de consumo;  
Calefactor; 6.29 Amper  
Ventilador; 1.9 Amper

Corriente total de consumo= 8.19 Amper

Este tipo de contactor es apropiado para ser utilizado en este proyecto debido a que cubre los requerimientos de la corriente de consumo total, la cual es de 8.19 Amper y el contactor tiene una corriente en AC- 127 V de 9 Amper.

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

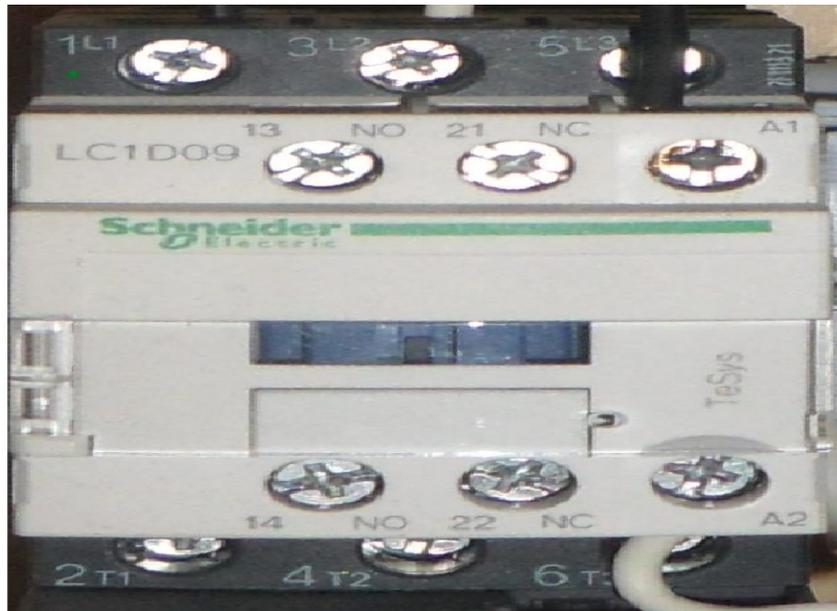


Figura 3.7. Contactor Electromagnético LC1D09. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en la investigación de teórica (Enero, 2014)

En el capítulo siguiente se describe a detalle el algoritmo de control utilizado para la automatización del invernadero.



# CAPÍTULO 4

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Se realizaron los diagramas eléctricos, en donde se muestra la forma de conexión de cada dispositivo como el interruptor general, contactor, la sobre carga, controlador, ventilador y calefactor, la simbología que se uso para estos diagramas fue la americana. En el diagrama de fuerza, figura 4.1, es el esquema eléctrico indicando que la alimentación del circuito es de 127 Vca y está protegida con una sobrecarga para proteger a los dispositivos de control en caso de un exceso de tensión al circuito, además de contar con los contactores que activarán y se desactivaran al ventilador o al calefactor dependiendo de las condiciones que se tenga en el invernadero.

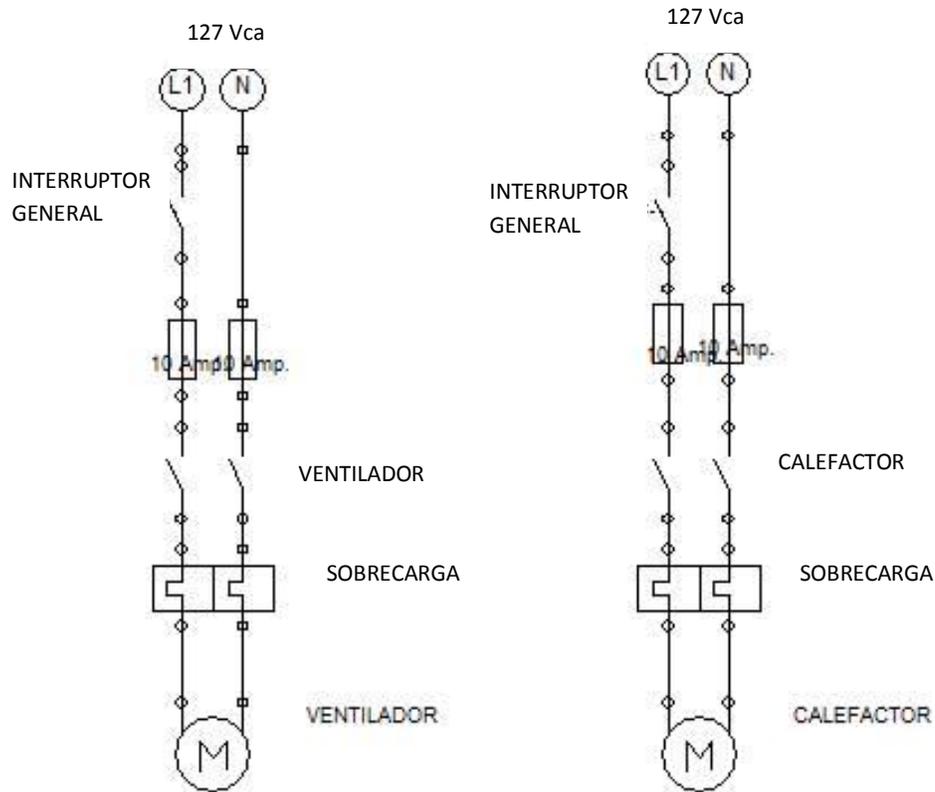


Figura 4.1. Diagrama de fuerza. Fuente: Elaboración propia de los autores basado en los conocimientos teóricos (Febrero, 2014)

El diagrama de control, figura 4.2, muestra el botón de paro por emergencia como protección al circuito, el botón de arranque que permite alimentar a todo el circuito y cada dispositivo, se hace representación de los bornes del controlador de temperatura Shinko considerando que se conectaron los dos sensores, termopares tipo j, y a la salida el relevador para el calefactor y el ventilador.

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

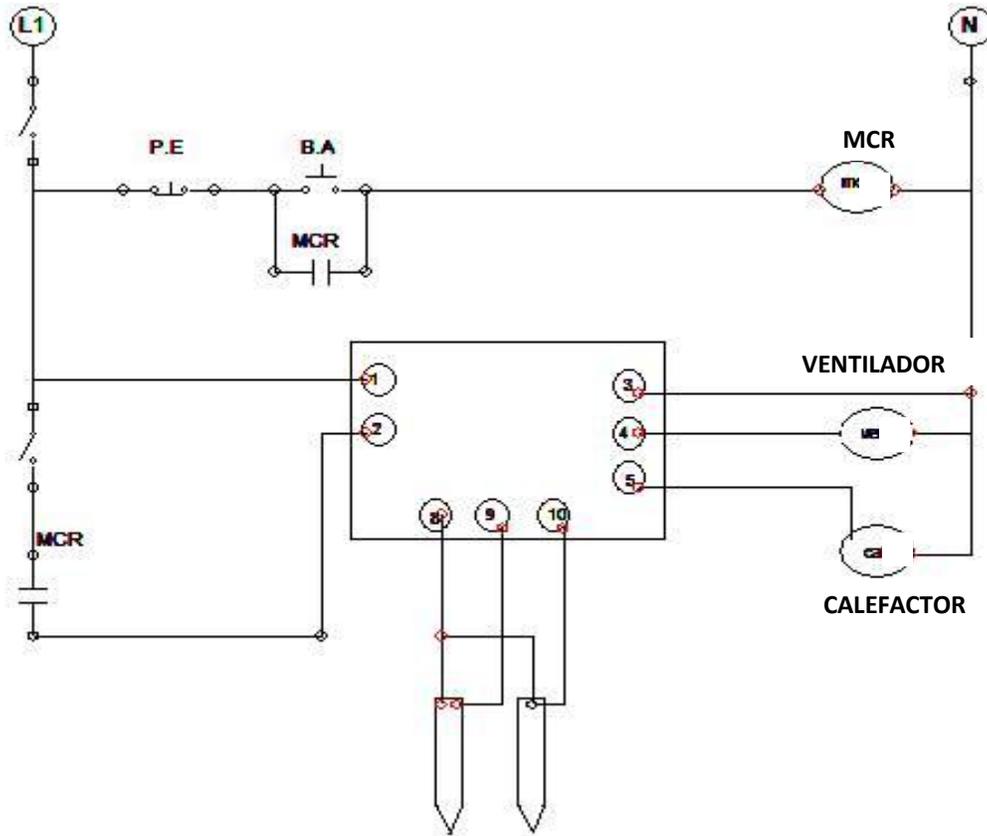


Figura 4.2. Diagrama de Control. Fuente: Elaboración propia de los autores basado en los conocimientos teóricos (Febrero, 2014)

Los bornes correspondientes del controlador mostrados en el diagrama de fuerza y control son;

1 y 2: Alimentación de fase y de neutro a 127 VCA.

3 y 4: Salida 1 Contacto Normalmente abierto (127 VCA).

3 y 5: Salida 2 Contacto Normalmente abierto (127 VCA).

8 y 9: Sensor 1 (termopar tipo J).

8 y 10: Sensor 2 (termopar tipo J).

## 4.1 DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL

Para el diseño de nuestro de tablero de control se utilizó una tabla de 30 centímetros por 30 centímetros en donde se fijó un riel para el montaje de los dispositivos ya que los dispositivos tienen un diseño estándar para ubicarlos en el riel, también se le colocó a la tabla una canaleta para los cables de alimentación y de control para cada dispositivo, en la figura 4.3 se aprecia el tablero de control con el riel y la canaleta mientras en la figura 4.4 se muestra el mismo tablero de control con los dispositivos ya montados.

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.



Figura 4.3. Tablero. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en la investigación de campo (Febrero, 2014)

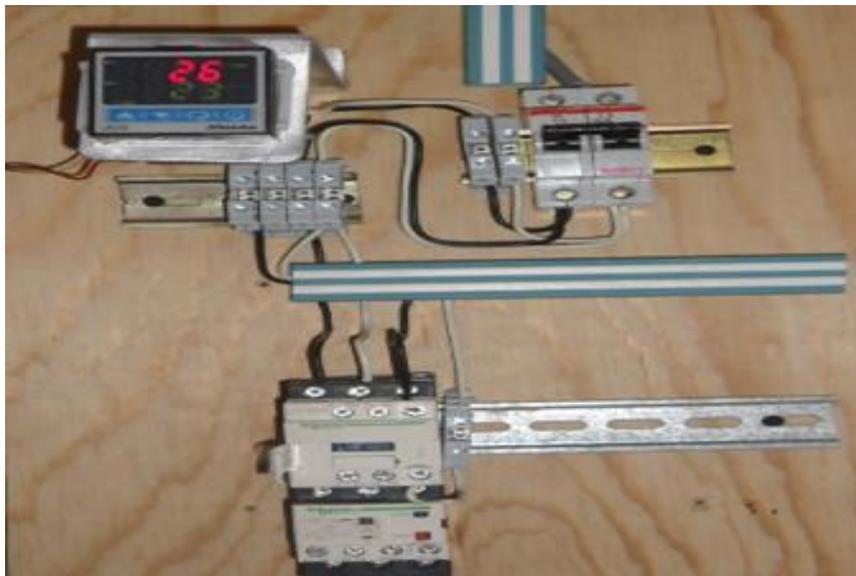


Figura 4.4. Montaje de Equipos en el Tablero de Control. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en la investigación de campo (Febrero, 2014)

Después se seleccionó un lugar dentro del invernadero para dejar el tablero de control, basándonos en nuestro diagrama de ubicación, figura 4.5, donde se muestra la ubicación del tablero de control conectado con los elementos finales de control (calefactor y ventilador) y describe con exactitud la colocación de los equipos, cuya finalidad es la de estar en un punto estratégico para mantener la temperatura adecuada y propicia para el cultivo.

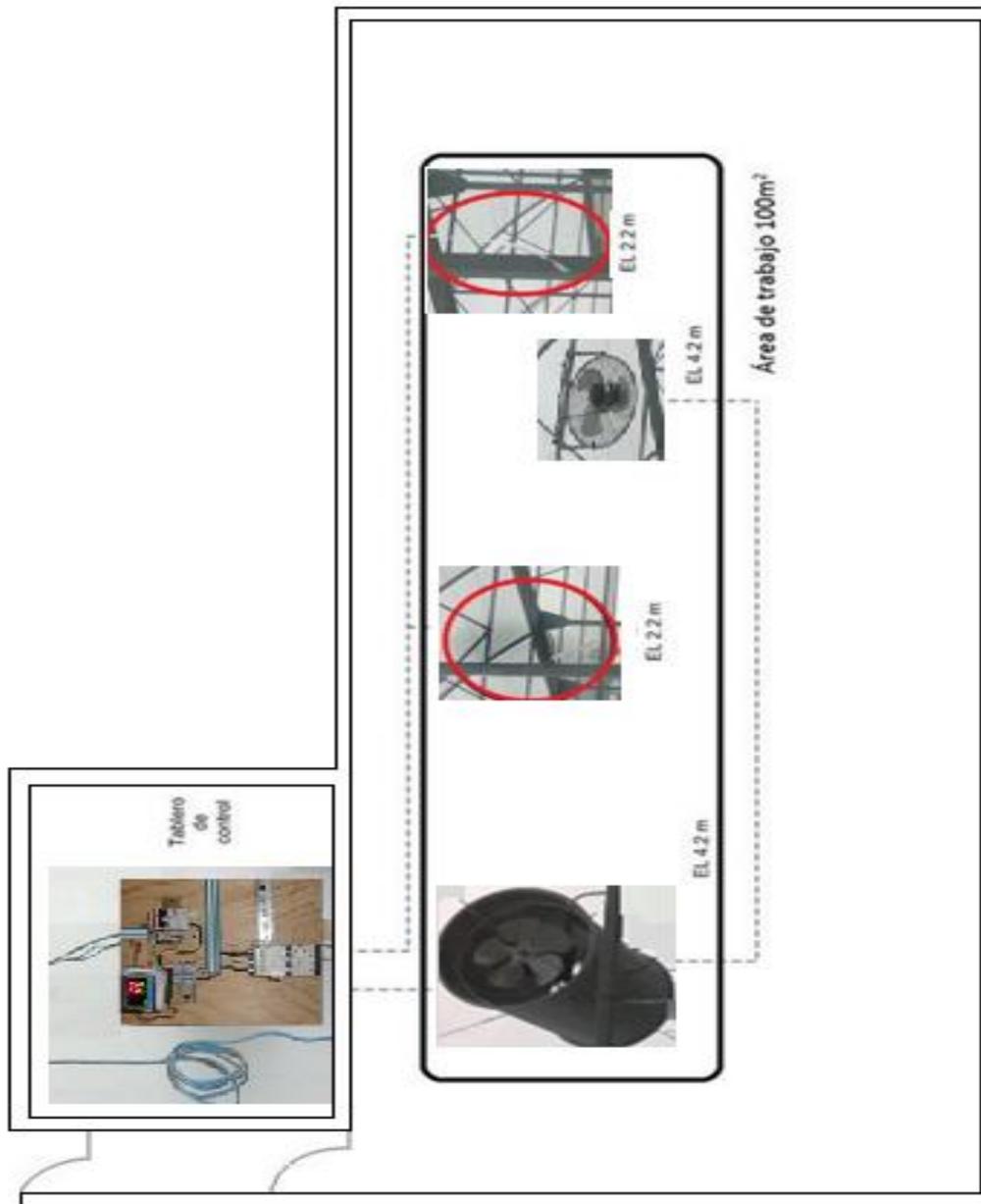


Figura 4.5. Diagrama de Ubicación. Fuente: Elaboración propia de los autores basado en la investigación teórica (Febrero, 2014)

## 4.2 CONTROL ON/OFF POR HISTERESIS

La selección del algoritmo de control para la aplicación dada (control de temperatura en un invernadero de jitomate), depende de los requerimientos del proceso. Para realizar la selección del



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

tipo de algoritmo de control que se utilizó en esta aplicación se analiza en la tabla 4.1, en la cual se describen los tipos de algoritmos de control que existen de acuerdo a sus características y aplicaciones, se dará una solución para la aplicación correspondiente a los requerimientos del proceso, la cual debe ser una solución simple, fácil instalación, mantenimiento y costo accesible.

Tabla 4.1. Algoritmos de Control. Fuente: Elaboración propia de los autores basado en los conocimientos teóricos (Diciembre, 2013)

Algoritmo de Control	Ventajas	Desventajas
Control ON/OFF por Histéresis	Admite oscilación continua. Costo accesible de instalación.	No recomendable para procesos de alto riesgo.
	Fácil instalación y mantenimiento. Procesos de poca oscilación. Tiempo de respuesta inmediato.	
P	Simplicidad. Proporciona buena estabilidad. Respuesta rápida.	El control es proporcional al error. Genera oscilaciones.
	Recomendable para procesos de alto riesgo. Reduce el error en estado estacionario.	Costoso (instalación, mantenimiento).
PI	Mejora el tiempo de respuesta, subida. Mejora el tiempo de estabilización del proceso.	
	Mejora tiempo de respuesta. Procesos de altas oscilaciones.	
PID	Mejora el tiempo de estabilización del proceso. Máxima precisión. Procesos de alto riesgo.	Costoso (instalación, mantenimiento).

De acuerdo al análisis del requerimiento del proceso, se ha puesto de manifiesto las ventajas que presenta el algoritmo de control de ON/OFF por histéresis, al resto de los algoritmos de control

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

mencionados en la tabla anterior. Este algoritmo es el que se utilizó para el control de la temperatura en el invernadero de jitomate.

Este tipo de algoritmo de control es una regulación simple y económica, en aplicaciones que se puede admitir una oscilación continua entre dos límites (superior e inferior), donde el proceso es lento y la aplicación de la histéresis evita la oposición a cualquier cambio del rango de referencia (Set Point).

Una estructura clásica de algoritmo de control, es la de ON/OFF por histéresis, generada a partir del diagrama de bloques de la figura 4.6 (sistema de control de lazo cerrado).

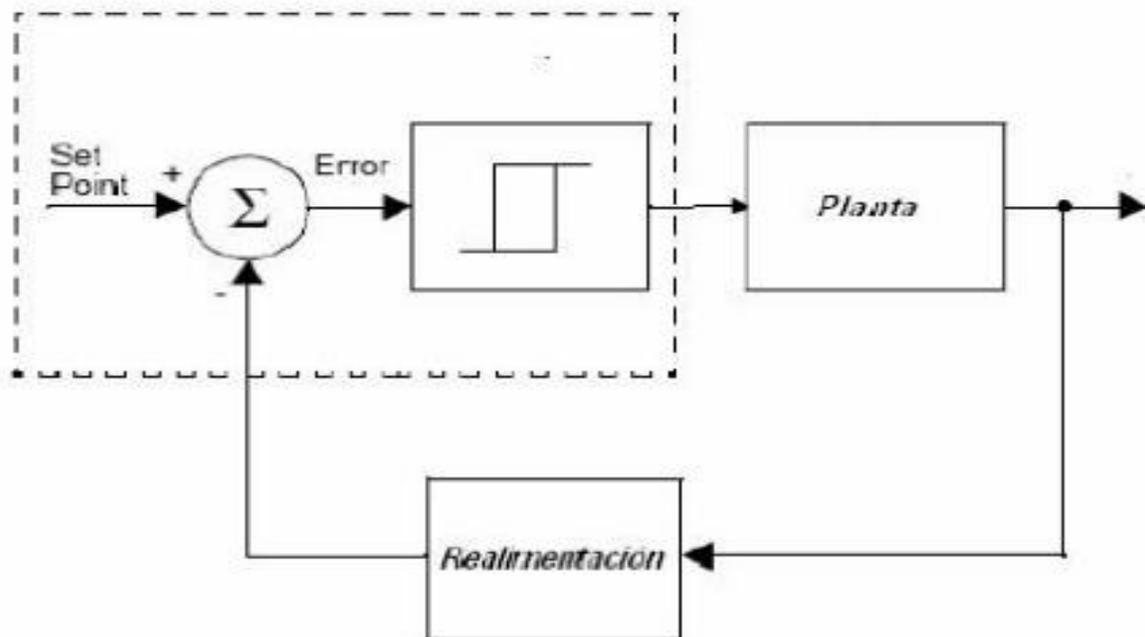


Figura 4.6. Diagrama de Bloques con Histéresis. Fuente:

<http://es.scribd.com/doc/97395385/Informe-de-Control-on-Off-Con-Histeresis> (Febrero, 2014)

La histéresis es la diferencia máxima del valor de salida del instrumento para el mismo valor mínimo del campo de medición, como se muestra en la figura 4.7.



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

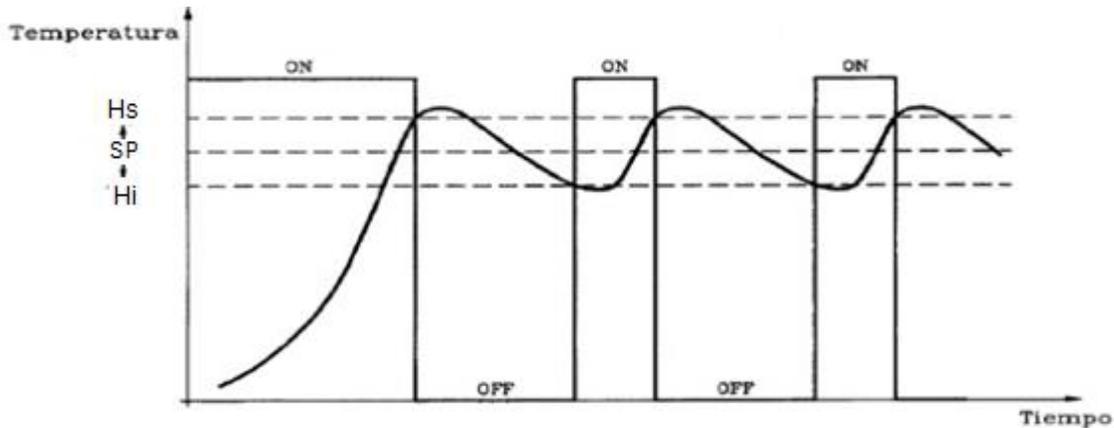


Figura 4.7. Control de la Temperatura por Medio de un Algoritmo de Control ON/OFF. Fuente: <http://es.scribd.com/doc/97395385/Informe-de-Control-on-Off-Con-Histeresis> (Febrero, 2014)

Donde;

Hs = Límite superior

Hi = Límite inferior

SP = Set Point

Para realizar el desarrollo del algoritmo se toma en cuenta la siguiente información;

La temperatura adecuada para el invernadero es de 23°C, la temperatura de desarrollo se sitúa en 17 - 23°C [1].

Para realizar el cálculo correspondiente de los valores del Set Point (SP), Variable de Proceso (VP) y de la Histéresis (H), se utilizaron las siguientes ecuaciones;

$$VP = SP - \left( \frac{Hs - Hi}{2} \right) \dots\dots\dots ec.5$$

$$H = \left( \frac{Hs - Hi}{2} \right) \dots\dots\dots ec.6$$

Donde;

SP = Set Point

VP = Variable de Proceso

Hs = Límite superior

Hi = Límite inferior

H = Histéresis

Tomando en cuenta que la temperatura está situada en los rangos de 17 - 23°C respectivamente y la temperatura de operación es de 23°C, se utilizó la ecuación 6 para obtener el valor de la Histéresis (H).

Sustitución de la ecuación 6;

$$H = \left( \frac{23 - 17}{2} \right) = 3 \dots\dots\dots ec.7$$



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

La histéresis tiene un valor de 3 unidades, esto quiere decir que el Set Point (SP) está ubicado tres unidades por arriba y tres unidades por abajo de la temperatura de operación la cual se sitúa en 23°C, por lo tanto el Set Point (SP) tiene un valor de 20°C como se muestra en la figura 4.8.

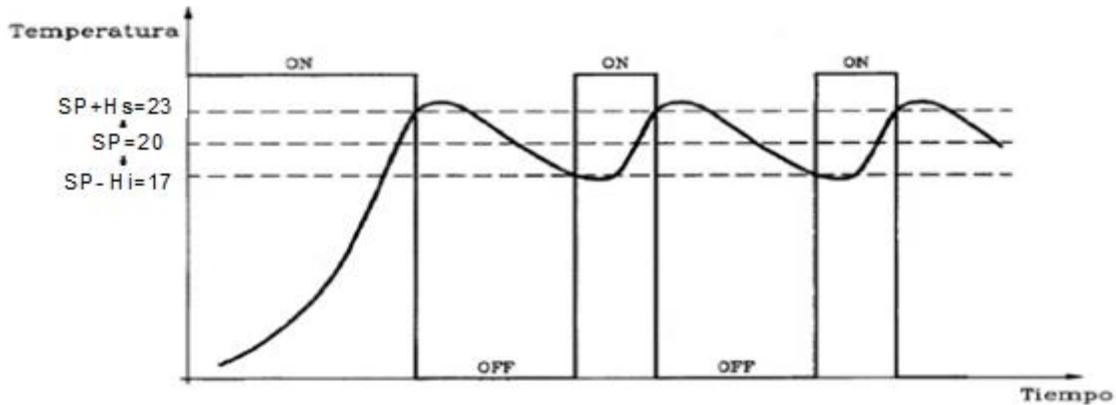


Figura 4.8. Rango de Operación del Set Point (SP) Utilizando Histéresis. Fuente: Elaboración propia de los autores (Febrero, 2014)

Para conocer el valor de la Variable de Proceso (VP) se utilizó la ecuación 5 considerando al SP = 23

$$VP = 23 - 3 = 20 \text{ .....ec.8}$$

El rango de operación de la Variable de Proceso (VP) es de 20°C, este dato es de suma importancia el cual servirá como referencia para las condiciones de operación del control de la temperatura en el invernadero, es decir debe satisfacer las siguientes condiciones;

- VP < SP - H.....Encendido del calefactor.
- VP > SP + H.....Encendido del ventilador.

Para ejemplificar el funcionamiento de las condiciones de operación anteriores, se desarrolló el siguiente diagrama de bloques como se muestra en la figura 4.9.

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

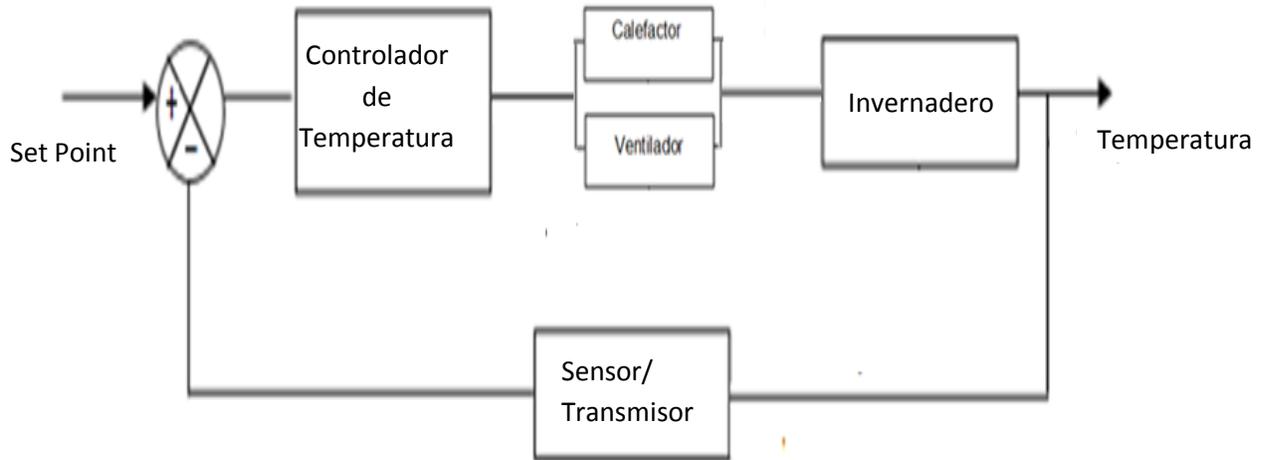


Figura 4.9. Ejemplificación de las Condiciones de Operación del Controlador. Fuente: Elaboración propia de los autores basado en los conocimientos teóricos (Febrero, 2014)

## 4.3 CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR

El diagrama de flujo que se muestra en la figura 4.10 corresponde a la configuración de un control ON/OFF por histéresis, el cual se realizó de una manera simplificada, estructurada y orden para poder configurar el controlador de temperatura, en el cual los parámetros que se determinaron y se utilizaron en la configuración del controlador son; Set Point (SP), Variable de Proceso (VP), Histéresis (H), límite superior (Hs) e inferior (Hi), para configurar el controlador de temperatura se introdujeron los valores correspondientes de las variables mencionadas.

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

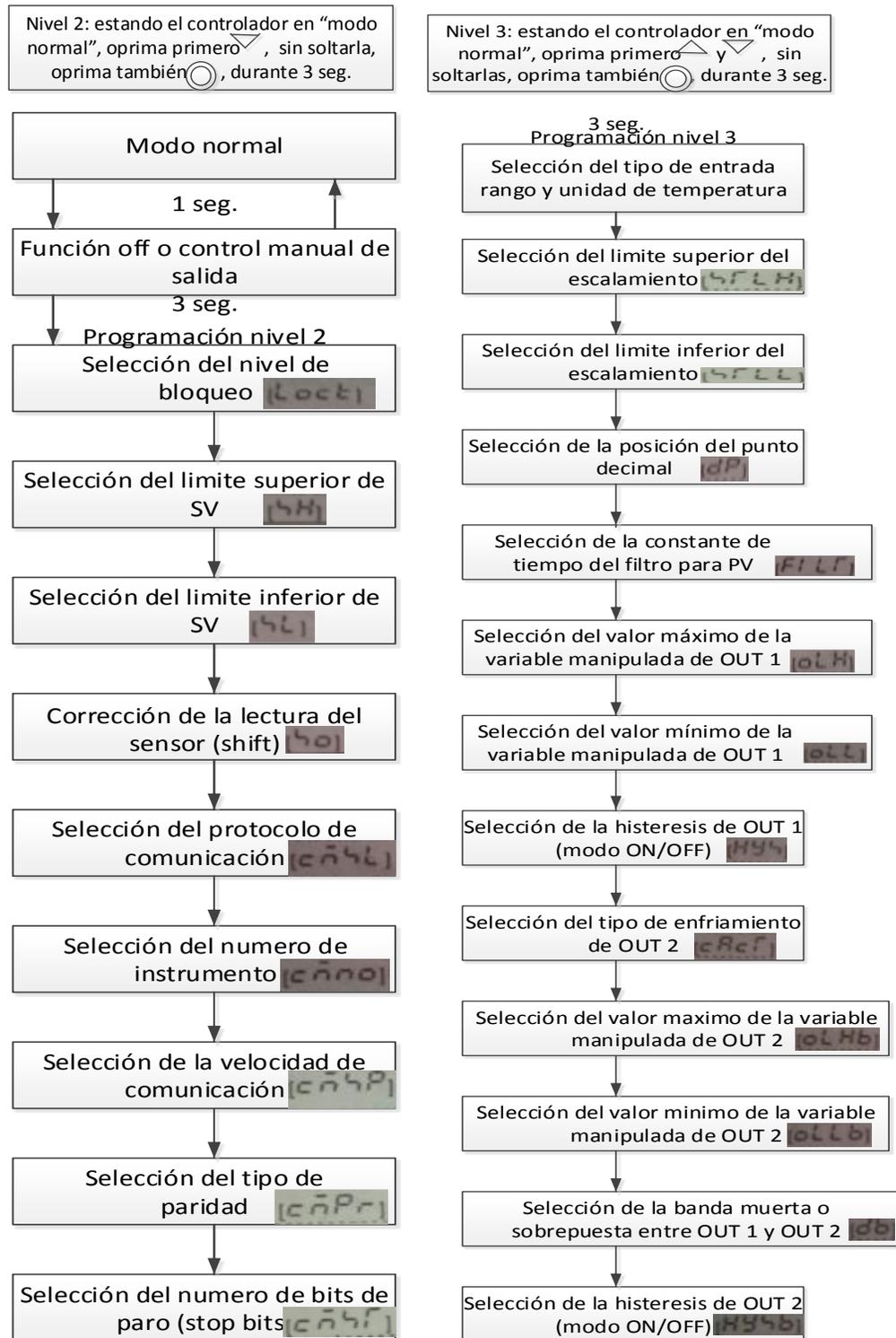


Figura 4.10. Diagrama de Flujo de la Configuración del Controlador. Fuente: "Manual de operación del controlador de temperatura - Shinko" (Febrero, 2014)

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

A partir del diagrama de flujo de la figura 4.9 se realizó la configuración del controlador de temperatura. Para comenzar la configuración del controlador, se modifica el Set Point como se muestra en la figura 4.11, el cual se realizó oprimiendo los botones correspondientes.



Figura 4.11. Configuración del Set Point. Fuente: Elaboración propia de los autores basado en el manual de operación del controlador de temperatura - Shinko (Febrero, 2014)

A continuación se realizó la configuración paso a paso de la programación nivel 2 para designar los límites de la histéresis (superior e inferior), así como la velocidad de respuesta de la comunicación (termopar /controlador), como se muestra en la figura 4.12.



Figura 4.12. Configuración de los Límites de la Histéresis Superior e Inferior. Fuente: Elaboración propia de los autores basado en el manual de operación del controlador de temperatura - Shinko (Febrero, 2014)

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Para la configuración nivel 3, se asignó el tipo de entrada (termopar tipo j), el tipo de escalamiento tanto superior como inferior, cuyo valor del escalonamiento es de 3 unidades (se calculó previamente), el cual sirve para mantener en un cierto rango la histéresis, esto quiere decir que el Set Point (SP) está ubicado tres unidades por arriba y tres unidades por abajo de la temperatura de operación como se muestran en la figura 4.7.

Seleccionar el valor máximo y mínimo para la salida 1 y 2, es decir, los valores con los cuales se accionaran las salidas del controlador para encender el calefactor y ventilador, cuyos valores deben cumplir con las condiciones de operación (encendido del calefactor  $17 < \text{Set Point} = 20 < 23$  encendido del ventilador), como se muestra en la figura 4.13.



Figura 4.13. Configuración de las Salidas del Controlador. Fuente: Elaboración propia de los autores basado en el manual de operación del controlador de temperatura - Shinko (Febrero, 2014)

En el capítulo siguiente se presentaran las pruebas y los resultados obtenidos al utilizar un control ON/OFF por Histéresis, configurado en un controlador de temperatura utilizado en un invernadero de jitomate.



# CAPÍTULO 5

## ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Para verificar y comprobar la utilidad de lo que se realizó en el capítulo anterior (algoritmo de control ON/OFF por histéresis), se acude a realizar las pruebas convenientes, las primeras pruebas realizadas fueron para verificar el funcionamiento de los elementos del tablero de control, se conectó un ventilador y calefactor (domésticos) a la salida de la sobrecarga, como se muestra en la figura 5.1, para justificar el funcionamiento del controlador, así como la verificación del accionamiento de los elementos del tablero de control, es decir, el accionar del contactor y de la sobrecarga.



Figura 5.1. Primeras Pruebas del Controlador Utilizando el Calefactor y Ventilador Domésticos.  
Fuente: Elaboración propia de los autores basada en los conocimientos teóricos (Febrero, 2014).

Las pruebas de la sobrecarga se realizaron de manera manual, oprimiendo el botón de sobrecarga para abrir el circuito, como se muestra en la figura 5.2. Esta prueba es esencial para comprobar el funcionamiento correcto del dispositivo. Con esta información se realizó la filosofía de operación del proceso, la cual describe el funcionamiento de cada instrumento de medición y el equipo utilizado para el control de la temperatura en el invernadero de jitomate.

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

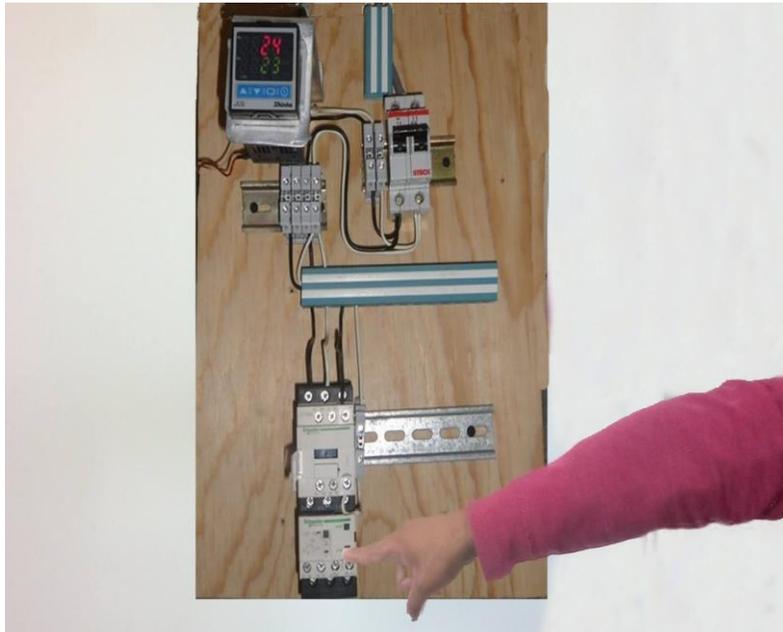


Figura 5.2. Pruebas con la Sobrecarga de Manera Manual. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en los conocimientos teóricos (Febrero, 2014).

## 5.1 FILOSOFÍA DE OPERACIÓN

Este proceso inicia con la medición de temperatura por medio de los sensores-transmisores de temperatura, la señal física es enviada al controlador indicador de temperatura, se contará con un calefactor el cual se acciona cuando los sensores-transmisores detectan una temperatura baja (de 20°C), el calefactor contará con operación automática y manual mediante el selector local, cuando el selector se encuentre en manual el calefactor se accionará por medio del interruptor manual.

Para disminuir la temperatura se cuenta con un ventilador, el cual se acciona cuando la temperatura es alta (mayor a 23°C), funciona de 2 formas diferentes, automático y manual mediante el selector local, cuando el selector se encuentre en manual el ventilador podrá ser manipulado con sus botones correspondientes. Además de luces indicadoras para el ventilador y otra para el calefactor en operación y para fuera de servicio.

Se contará con las sobrecargas correspondientes para ambos equipos, que servirán como permisivo para detener el funcionamiento y así evitar cualquier daño por sobrecarga.

## 5.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A partir de un control ON/OFF por histéresis se realizaron las pruebas convenientes en el invernadero de jitomate, estas pruebas se describen a continuación, las cuales generaron resultados lo que permitió obtener una conclusión.

Durante 9 días se realizó la medición de la temperatura, mediante un termómetro para invernadero, el cual realizó la medición de la temperatura según la ubicación en el que se colocó, para garantizar que la temperatura en un punto fuese la misma en otro punto distinto, estos datos se registraron para realizar un análisis de los puntos críticos donde la variación de la temperatura es frecuente.



## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Estos datos sirvieron para conocer la ubicación de los sensores de temperatura de acuerdo a los diferentes puntos del área de trabajo dentro del invernadero. Las mediciones se realizaron en 9 puntos estratégicos, los cuales se registraron en la tabla 5.1 de las mediciones estratégicas para la ubicación de los termopares.

Tabla 5.1. Mediciones Estratégicas para la Ubicación de los Termopares. Fuente: Elaboración propia de los autores basados en investigación de campo (Febrero, 2014)

Ubicación		Día 1		Día 2		Día 3		Día 4			Día 5	Día 6	Día 7		Día 8	Día 9
Lateral trasero iz	Hora	8:00	19:00	8:00	9:15	13:40	19:00	7:10	14:00	20:00	8:00	9:00	12:00	14:30	9:15	9:00
	Temp	25°C	21°C	23°C	22°C	22°C	22°C	20°C	22°C	21°C	20°C	23°C	23°C	24°C	20°C	22°C
Trasero centro	Hora	8:20	19:20	8:20	9:30	13:45	19:30	7:40	14:50	20:30	8:20	9:45	12:10	15:00	10:40	12:00
	Temp	24°C	21°C	22°C	22°C	22°C	22°C	20°C	22°C	21°C	20°C	24°C	23°C	24°C	20°C	23°C
Lateral trasero d	Hora	8:40	19:30	8:30	9:45	13:55	20:00	8:30	15:30	21:00	8:40	10:30	12:20	15:30	11:30	13:00
	Temp	26°C	21°C	23°C	22°C	23°C	21°C	20°C	22°C	21°C	20°C	24°C	23°C	23°C	22°C	23°C
Centro izquierdo	Hora	10:30	19:10	8:10	10:00	13:00	20:30	8:00	14:20	20:10	10:30	11:20	12:30	16:30	14:20	14:00
	Temp	24°C	23°C	24°C	24°C	24°C	19°C	22°C	24°C	23°C	24°C	22°C	24°C	23°C	23°C	24°C
Centro	Hora	10:50	19:40	8:15	10:15	13:20	21:40	9:25	15:10	20:20	10:50	12:00	12:35	17:10	15:30	15:00
	Temp	24°C	23°C	24°C	24°C	24°C	19°C	23°C	24°C	23°C	24°C	23°C	24°C	23°C	23°C	24°C
Centro derecho	Hora	11:20	19:50	8:25	10:45	14:00	22:00	9:50	16:00	20:40	11:20	13:35	12:45	18:00	16:10	16:00
	Temp	23°C	23°C	24°C	24°C	24°C	18°C	23°C	23°C	23°C	24°C	24°C	25°C	22°C	23°C	23°C
Parte iz delantera	Hora	12:00	19:05	8:35	9:20	14:15	20:15	8:45	15:40	21:15	14:00	14:00	12:50	19:00	17:00	17:00
	Temp	23°C	22°C	23°C	22°C	23°C	20°C	20°C	23°C	22°C	23°C	24°C	22°C	22°C	21°C	22°C
Parte cen Delantera	Hora	12:25	19:45	8:40	9:35	14:25	21:10	9:00	16:30	21:40	16:00	15:30	12:55	19:30	19:30	18:00
	Temp	25°C	22°C	21°C	22°C	23°C	20°C	21°C	23°C	22°C	23°C	23°C	22°C	23°C	21°C	22°C
Parte del derecha	Hora	13:10	19:55	8:45	9:50	14:50	22:30	9:40	17:00	22:00	17:30	16:40	13:00	20:30	21:00	20:00
	Temp	22°C	22°C	21°C	22°C	23°C	19°C	21°C	22°C	20°C	23°C	23°C	22°C	20°C	21°C	21°C

Estas pruebas ayudaron para conocer la ubicación exacta de los Termopares tipo J, es decir, los puntos estratégicos y convenientes donde la temperatura variaba de manera frecuente durante el transcurso del día, para ello se efectuó una gráfica donde se observa el comportamiento de la temperatura en los puntos de ubicación y las diferentes horas del día.

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

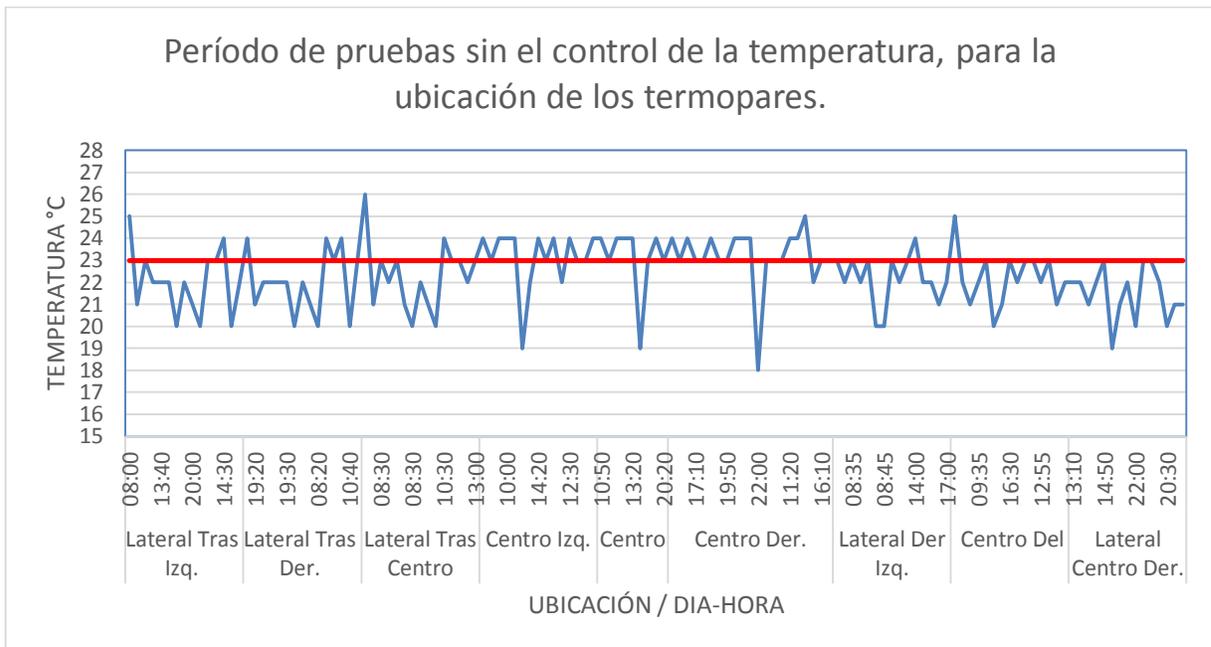


Figura 5.3. Gráfica del Período de Pruebas sin Control de Temperatura. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en los conocimientos teóricos (Febrero, 2014).

Como se puede observar en la gráfica de la figura 5.3 los puntos donde la temperatura tiene una variación frecuente durante las diferentes horas del día son el centro y la parte delantera centro del área de trabajo del invernadero de jitomate. Se realizó un análisis de los puntos donde la temperatura tiene una variación de manera relevante de acuerdo a su ubicación descritas en la tabla 5.2, en la tabla se menciona los puntos donde existen las mayores variaciones de temperatura, de acuerdo a la temperatura de operación (requerimientos establecidos por la SAGARPA), considerando que se utilizaron dos termopares, suficientes para abarcar toda la medición del área de trabajo.

Tabla 5.2. Análisis de los Puntos Críticos de la Temperatura Dentro del Invernadero. Fuente: Elaboración propia de los autores basados en investigación de campo (Febrero, 2014)

Sensor	UBICACIÓN	TEMPERATURA °C															
1	Centro	24	23	24	24	24	19	25	24	24	24	24	24	25	23	24	
2	Parte delantera Centro	25	22	21	22	23	20	21	23	22	23	23	23	22	21	22	

Para conocer la ubicación de los termopares, partiendo de los datos obtenidos en las mediciones realizadas, se utilizó la siguiente fórmula;

$$\text{Ubicación sensor} = \frac{\sum \text{Datos obtenidos}}{\text{número total de datos}}$$



## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

$$\text{Ubicación sensor 1} = \frac{24+23+24+24+24+19+25+24+24+24+24+24+25+23+24}{15} = 24$$

$$\text{Ubicación sensor 2} = \frac{25+22+21+22+22+23+20+21+23+22+23+23+23+21+22}{15} = 24$$

Los puntos con mayor variación de temperatura son el centro y la parte delantera centro del área de trabajo como se muestra en la gráfica de la figura 5.4, estos son los puntos estratégicos donde se ubicaron los termopares.

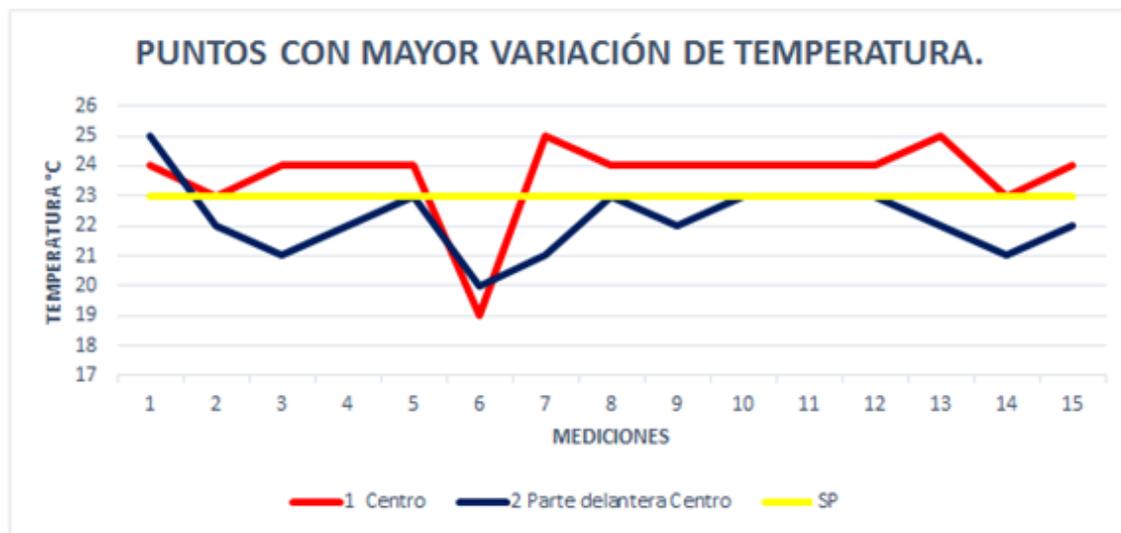


Figura 5.4. Gráfica de los Puntos con Mayor Variación de Temperatura. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en los conocimientos teóricos (Febrero, 2014).

En la figura 5.5 se muestra la ubicación de los termopares en el centro y centro de la parte delantera del área de trabajo, en estos puntos es donde incide una mayor variación de temperatura.

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.



Figura 5.5. Ubicación del Termopar en la Parte Central y Delantera del Invernadero. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en investigación de campo (Marzo, 2014).

Es importante mencionar que las pruebas realizadas en el invernadero, fueron en una área de trabajo de 100m<sup>2</sup> de la superficie total, cuya razón de esta área de trabajo fue la que se determinó por parte del propietario para llevar a cabo estas mediciones y por consiguiente las pruebas del control ON/OFF por histéresis aplicadas al cultivo de jitomate en el invernadero.

La pantalla del controlador muestra 2 display, como se muestra en la figura 5.6; el display de la parte de arriba de color rojo es la PV (Variable de Proceso), indica la temperatura en ese momento en el invernadero, mientras que el display de abajo de color verde SV (Set Point), se observa el valor deseado de la temperatura establecida por la SAGARPA (23°C).



Figura 5.6. Pantalla del Controlador de Temperatura. Fuente: Elaboración propia de los autores basado en el manual de operación del controlador de temperatura - Shinko (Marzo, 2014).

Para la ubicación del tablero de control se utilizó el diagrama de ubicación realizado en el capítulo 3, el cual está instalado dentro del invernadero para monitoreo constante, como se muestra en la figura 5.7 en donde se registraron las temperaturas en distintas horas del día.

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

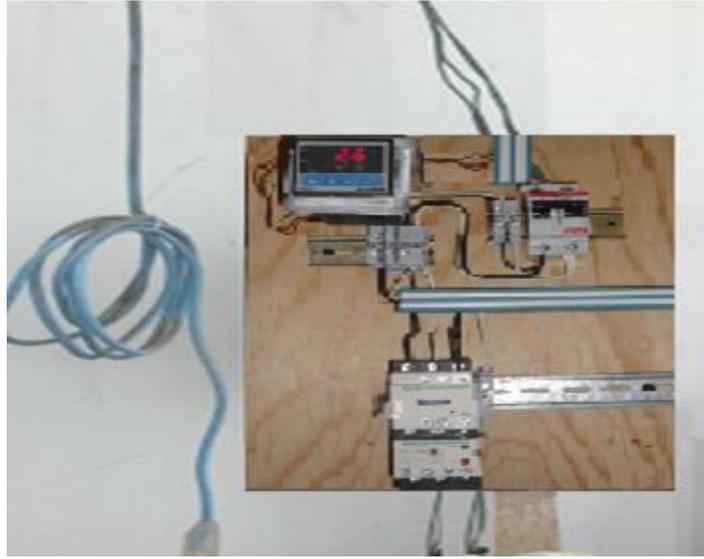


Figura 5.7.Ubicación del Tablero de Control. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en investigación de campo (Marzo, 2014).

Se monitoreo el comportamiento de la temperatura durante 41 días, aplicando lo mencionado en el capítulo 4 (Control on/off por histéresis), dando inicio a partir del día 1 de marzo al 10 de abril, los resultados obtenidos fueron los siguientes; Los primero 9 días de pruebas, la variación de la temperatura osciló entre los 24 y 18 °C. En la figura 5.8, se puede observar la medición de la temperatura en el día 1.

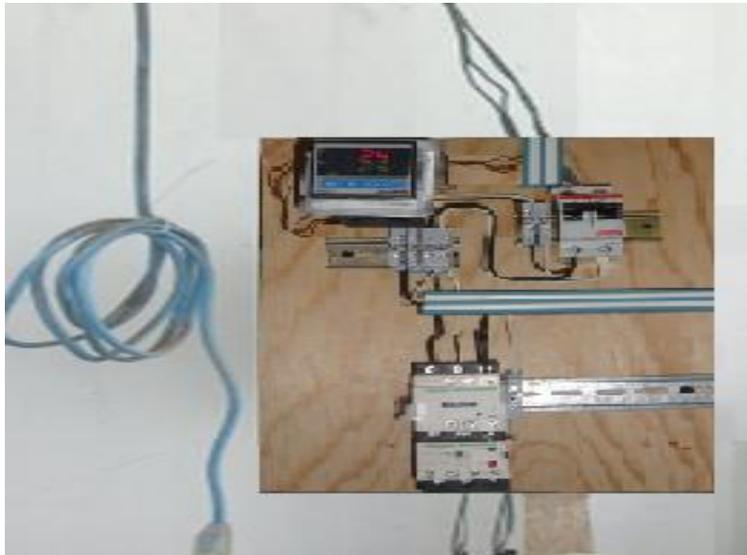


Figura 5.8.Medición de la Temperatura en el Día 1.Fuente: Elaboración propia de los autores basada en el período de pruebas (Marzo, 2014).

La medición de la temperatura en el día 3 se muestra en la figura 5.9, esta temperatura fue registrada y anotada en la tabla 5.3.

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

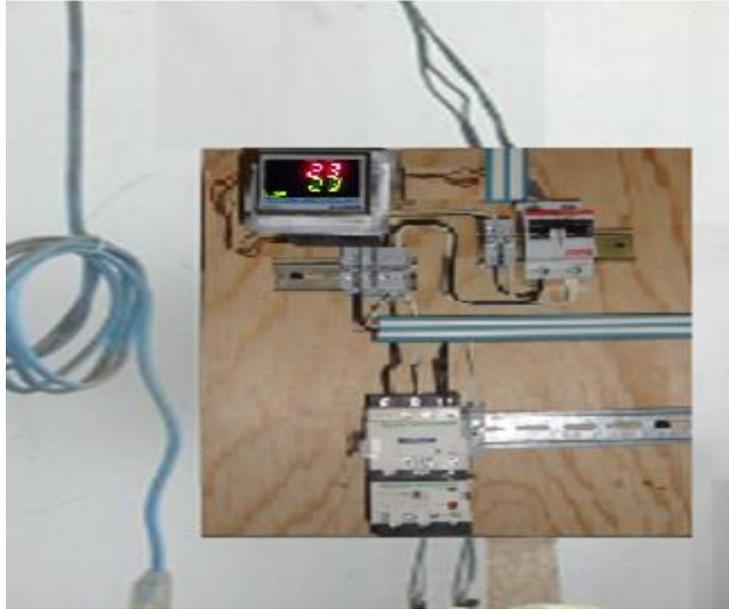


Figura 5.9. Medición de la Temperatura en el Día 3. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en el período de pruebas (Marzo, 2014).

En la figura 5.10, se observa la medición de la temperatura en el día 6, esta temperatura fue registrada y anotada en la tabla 5.3.

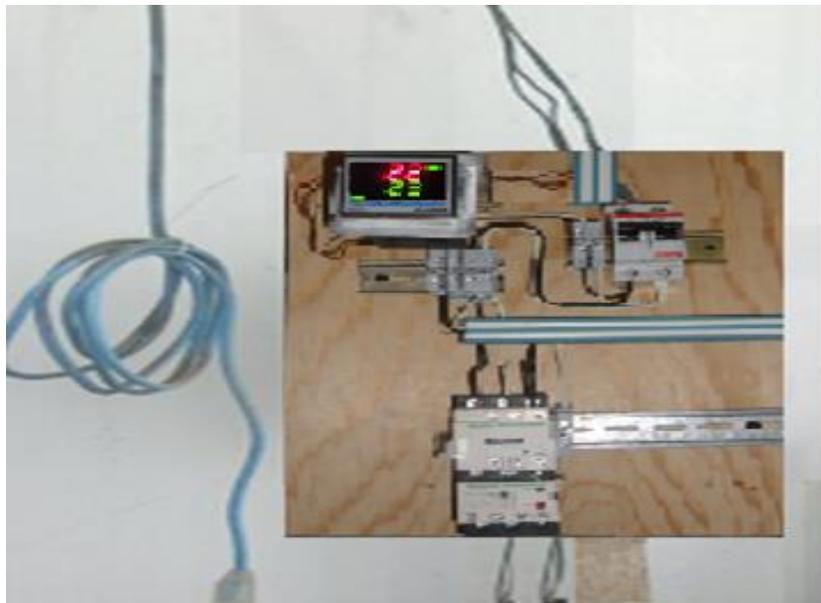


Figura 5.10. Medición de la Temperatura en el Día 6. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en el período de pruebas (Marzo, 2014).

En la figura 5.11, se muestra la medición de la temperatura en el día 9, esta temperatura fue registrada y anotada en la tabla 5.3.

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

---

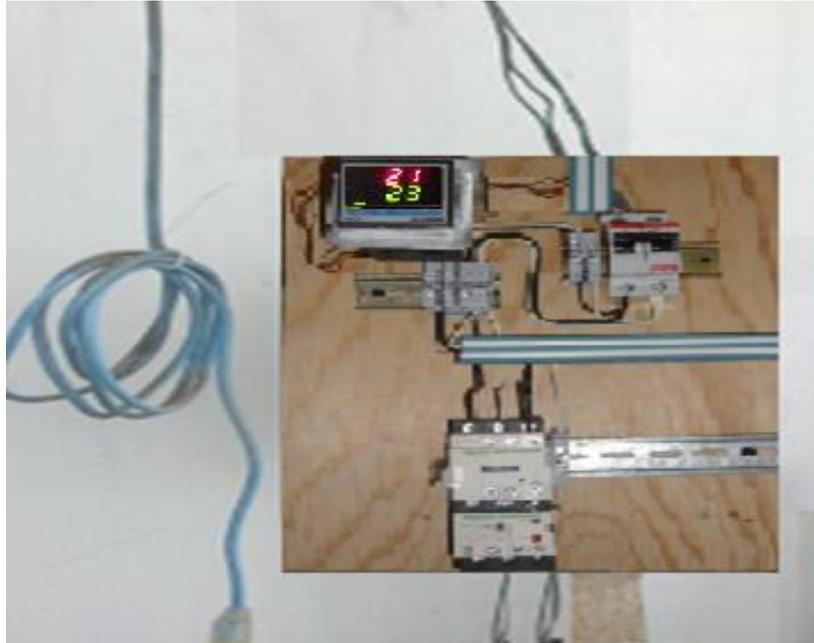


Figura 5.11. Medición de la Temperatura en el Día 9. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en el período de pruebas (Marzo, 2014).

A partir del día 10 los valores de las mediciones se fueron modificando, obteniendo resultados adecuados y establecidos por la SAGARPA, las mediciones abarcaron un periodo de 41 días, todos los registros que se realizaron se describen en la tabla del periodo correspondiente a las mediciones de la temperatura dentro del invernadero, dichos registros se pueden observar en la tabla 5.3.



## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Tabla 5.3. Período en el que se Realizaron las Mediciones en el Invernadero. Fuente: Elaboración propia de los autores basados en investigación de campo (Marzo-Abril, 2014)

1/3/2014	1	Hora	8:00	9:10	10:00	11:30	12:00	13:00	14:00	15:00	16:35	17:00	18:10	19:30	20:00	21:00	22:15
		Temp	24°C	24°C	24°C	24°C	25°C	25°C	25°C	24°C	23°C	23°C	22°C	22°C	21°C	20°C	18°C
2/3/2014	2	Hora	7:10	8:00	9:35	10:00	11:20	12:20	13:10	14:20	15:00	16:45	17:15	18:20	19:00	20:40	22:15
		Temp	17°C	17°C	19°C	19°C	20°C	20°C	21°C	21°C	22°C	22°C	22°C	20°C	20°C	20°C	19°C
3/3/2014	3	Hora	9:00	10:40	11:30	12:40	15:30	16:00	17:10	18:25	19:40	20:30	21:00	22:15			
		Temp	20°C	20°C	21°C	23°C	24°C	24°C	22°C	22°C	22°C	22°C	20°C	20°C			
4/3/2014	4	Hora	8:00	9:15	10:25	11:30	12:00	13:40	14:00	15:35	16:00	17:20	18:10	19:00	20:15	21:35	22:00
		Temp	23°C	23°C	23°C	23°C	24°C	24°C	24°C	24°C	24°C	23°C	23°C	22°C	22°C	20°C	20°C
5/3/2014	5	Hora	7:15	8:10	9:35	10:20	11:00	12:10	13:00	14:30	16:45	17:00	18:20	19:15	20:35	21:00	22:45
		Temp	19°C	19°C	19°C	20°C	20°C	22°C	22°C	23°C	23°C	22°C	20°C	20°C	20°C	19°C	19°C
6/3/2014	6	Hora	8:15	9:00	10:20	11:35	12:00	13:10	14:15	15:00	16:25	17:20	18:30	19:10	20:25	21:30	
		Temp	20°C	20°C	20°C	21°C	21°C	23°C	23°C	24°C	24°C	24°C	23°C	23°C	22°C	22°C	
7/3/2014	7	Hora	7:00	8:15	9:20	10:00	11:30	12:00	13:15	14:25	16:00	17:45	18:00	19:35	20:40	21:10	22:00
		Temp	19°C	19°C	20°C	20°C	20°C	21°C	23°C	23°C	24°C	24°C	24°C	22°C	22°C	21°C	21°C
8/3/2014	8	Hora	8:15	9:00	10:10	11:20	12:30	13:00	14:45	15:35	16:20	17:40	18:25	19:35	20:40	21:10	22:15
		Temp	19°C	19°C	20°C	20°C	21°C	21°C	24°C	24°C	24°C	23°C	23°C	23°C	23°C	21°C	20°C
9/3/2014	9	Hora	9:00	10:15	11:20	12:40	13:35	16:00	17:40	18:25	19:35	20:40	21:00	22:10	23:35		
		Temp	20°C	20°C	21°C	21°C	21°C	22°C	22°C	22°C	22°C	21°C	21°C	20°C	20°C		
10/3/2014	10	Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	
		Temp	24°C	25°C	24°C	23°C	23°C	22°C	22°C	21°C	20°C	20°C	20°C	21°C	21°C	20°C	
11/3/2014	11	Hora	8:15	9:10	10:25	11:00	12:30	13:00	14:25	15:00	16:20	17:00	18:30	19:00	20:30	21:00	22:00
		Temp	21°C	20°C	22°C	21°C	20°C	20°C	20°C	21°C	20°C	22°C	21°C	21°C	21°C	21°C	20°C
12/3/2014	12	Hora	8:10	9:00	10:30	11:00	12:30	13:00	14:10	15:00	16:25	17:30	18:00	19:00	20:00	21:30	22:00
		Temp	22°C	21°C	21°C	20°C	20°C	20°C	21°C	20°C	20°C	21°C	20°C	20°C	17°C	19°C	20°C
13/3/2014	13	Hora	8:40	9:50	11:00	12:15	13:00	14:00	15:00	16:00	17:10	18:00	19:05	20:00	21:00	22:00	
		Temp	23°C	22°C	22°C	22°C	22°C	22°C	21°C	21°C	21°C	22°C	20°C	20°C	21°C	21°C	
14/3/2014	14	Hora	9:00	10:00	11:05	12:00	13:05	14:15	15:10	16:00	17:00	18:15	19:00	20:00	21:10	22:00	
		Temp	22°C	22°C	22°C	23°C	22°C	22°C	21°C	21°C	21°C	22°C	20°C	20°C	21°C	21°C	
15/3/2014	15	Hora	9:15	10:10	11:00	12:10	13:00	14:10	15:00	16:05	17:00	18:00	19:00	20:15	21:00	22:00	
		Temp	22°C	21°C	22°C	22°C	22°C	22°C	21°C	21°C	21°C	22°C	21°C	21°C	20°C	20°C	



## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.



16/3/2014	16	Hora	8:50	9:45	10:55	12:00	13:10	14:15	15:05	16:00	17:10	18:05	19:15	20:10	21:00	22:00	
		Temp	20°C	20°C	21°C	23°C	22°C	22°C	21°C	21°C	21°C	22°C	22°C	21°C	20°C	20°C	
17/3/2014	17	Hora	9:00	10:10	11:05	12:00	13:10	14:15	15:05	16:05	17:00	18:00	19:10	20:05	21:00	22:00	
		Temp	20°C	20°C	21°C	22°C	22°C	23°C	23°C	22°C	21°C	21°C	21°C	22°C	21°C	21°C	
18/3/2014	18	Hora	8:55	9:45	10:40	11:50	13:05	14:00	15:10	16:15	17:00	18:05	19:00	20:05	21:10	22:00	
		Temp	20°C	20°C	21°C	23°C	23°C	22°C	22°C	22°C	22°C	21°C	22°C	21°C	21°C	20°C	
19/3/2014	19	Hora	8:20	9:30	10:10	11:30	12:00	13:15	14:00	14:45	15:40	16:30	17:50	18:30	19:40	20:00	21:30
		Temp	22°C	22°C	22°C	23°C	23°C	21°C	20°C	20°C	20°C	21°C	21°C	22°C	21°C	20°C	20°C
20/3/2014	20	Hora	8:25	10:30	11:45	12:00	13:10	14:20	15:10	16:00	18:30	19:30	20:10	21:00	22:30		
		Temp	20°C	21°C	21°C	21°C	22°C	22°C	21°C	21°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C		
21/3/2014	21	Hora	9:30	10:00	11:10	12:00	14:30	15:15	16:00	17:35	18:30	19:10	20:00	20:45	21:15	21:45	22:00
		Temp	20°C	20°C	21°C	21°C	22°C	22°C	22°C	21°C	21°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C
22/3/2014	22	Hora	9:00	10:30	11:00	12:00	13:00	14:30	15:00	16:20	17:00	18:10	19:00	20:30	21:00	22:30	
		Temp	21°C	22°C	22°C	22°C	23°C	22°C	22°C	21°C	21°C	20°C	20°C	21°C	21°C	21°C	
23/3/2014	23	Hora	7:30	8:00	9:15	10:35	11:00	12:30	13:00	14:10	15:25	16:00	17:15	18:00	19:35	20:45	21:10
		Temp	20°C	20°C	20°C	21°C	22°C	21°C	23°C	22°C	21°C	21°C	21°C	21°C	20°C	20°C	22°C
24/3/2014	24	Hora	8:30	9:00	10:30	11:30	12:15	13:10	14:00	15:45	16:40	17:00	18:10	19:30	20:00	21:15	22:00
		Temp	20°C	21°C	21°C	21°C	22°C	22°C	22°C	22°C	21°C	21°C	21°C	21°C	20°C	20°C	20°C
25/3/2014	25	Hora	7:35	8:15	9:10	10:35	11:45	12:15	13:00	14:35	15:40	16:10	17:35	18:40	19:20	20:30	21:45
		Temp	20°C	20°C	20°C	21°C	21°C	21°C	21°C	22°C	22°C	22°C	21°C	21°C	21°C	21°C	21°C
26/3/2014	26	Hora	9:10	10:15	11:30	12:00	13:40	14:30	15:20	16:00	17:15	18:00	19:45	20:10	21:25	22:00	
		Temp	21°C	21°C	21°C	21°C	22°C	22°C	22°C	22°C	22°C	21°C	21°C	21°C	21°C	20°C	
27/3/2014	27	Hora	9:15	10:00	11:35	12:00	13:15	14:10	15:00	16:45	17:00	18:15	19:20	20:10	21:00	22:10	23:00
		Temp	21°C	22°C	21°C	21°C	21°C	21°C	22°C	21°C	21°C	21°C	21°C	21°C	20°C	20°C	20°C
28/3/2014	28	Hora	8:00	9:15	10:20	11:30	12:00	13:15	14:20	15:10	16:15	17:20	18:00	19:15	20:30	21:00	22:00
		Temp	20°C	20°C	21°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C						
29/3/2014	29	Hora	7:00	8:15	9:10	10:15	11:00	12:30	13:40	14:00	15:00	16:35	17:40	18:00	19:10	20:00	21:00
		Temp	20°C	20°C	20°C	20°C	21°C	21°C	21°C	21°C	22°C	22°C	22°C	22°C	21°C	21°C	20°C
30/3/2014	30	Hora	8:00	9:10	10:00	11:35	12:00	13:40	14:20	15:00	16:10	17:00	18:40	19:20	20:00	21:35	
		Temp	20°C	20°C	20°C	20°C	21°C	21°C	21°C	21°C	21°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C



## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

31/3/2014	31	Hora	9:00	10:15	11:20	12:00	13:45	14:20	15:10	16:00	17:00	18:30	19:45	20:00	21:35	22:00		
		Temp	21°C	21°C	21°C	21°C	21°C	22°C	22°C	22°C	21°C	21°C	20°C	20°C	20°C	20°C		
1/4/2014	32	Hora	10:00	11:35	14:00	15:45	16:30	17:10	18:00	19:30	20:40	21:00	22:35					
		Temp	22°C	22°C	22°C	22°C	21°C	21°C	21°C	22°C	21°C	20°C	20°C					
2/4/2014	33	Hora	11:10	12:00	13:15	14:00	15:10	16:20	17:10	18:20	19:00	20:15	21:00	22:10	23:00			
		Temp	22°C	22°C	22°C	23°C	23°C	22°C	21°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C			
3/4/2014	34	Hora	7:15	8:00	9:00	12:00	13:45	16:00	17:00	19:10	20:00	21:45	22:00	23:15				
		Temp	20°C	20°C	20°C	21°C	21°C	21°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C				
4/4/2014	35	Hora	9:00	12:30	14:10	16:20	19:30	20:00	22:00	23:35								
		Temp	20°C	21°C	21°C	21°C	21°C	20°C	20°C	20°C								
5/4/2014	36	Hora	8:00	12:15	13:45	15:30	17:20	19:10	20:00	21:15	22:40							
		Temp	20°C	22°C	22°C	22°C	22°C	21°C	21°C	21°C	21°C							
6/4/2014	37	Hora	7:15	10:20	13:15	15:45	17:20	18:30	19:50	21:40	22:00	23:10						
		Temp	20°C	20°C	21°C	21°C	21°C	21°C	21°C	21°C	20°C	20°C						
7/4/2014	38	Hora	9:10	11:25	12:30	13:40	15:25	16:00	18:30	19:40	20:15	21:35	22:10	23:00				
		Temp	21°C	21°C	22°C	22°C	22°C	22°C	21°C	21°C	20°C	20°C	20°C	20°C				
8/4/2014	39	Hora	9:30	11:00	12:30	14:25	15:00	16:45	18:20	20:00	21:40	22:35						
		Temp	21°C	21°C	21°C	22°C	22°C	21°C	21°C	21°C	20°C	20°C						
9/4/2014	40	Hora	7:15	10:25	12:00	14:35	16:20	18:40	19:00	21:30	22:00	23:35						
		Temp	20°C	21°C	21°C	21°C	21°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C						
10/4/2014	41	Hora	9:00	12:40	13:30	15:20	17:50	18:20	19:35	21:40	22:10	23:00						
		Temp	21°C	21°C	21°C	22°C	22°C	21°C	21°C	21°C	20°C	20°C						

La temperatura osciló entre los 20 y 22 °C respectivamente, tomando en cuenta que las mediciones se realizaron en las diferentes horas del día, las cuales abarcaron en un horario de 7:00 - 23:00 horas con una medición continua, es decir, se monitoreo la temperatura en promedio de cada hora. Para los últimos días de monitoreo, las mediciones se realizaron en un promedio de 2 a 3 horas, los valores obtenidos oscilaban entre el rango de 20 a 22 °C.

En la figura 5.12, se puede observar el monitoreo de la temperatura en el día 10.

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

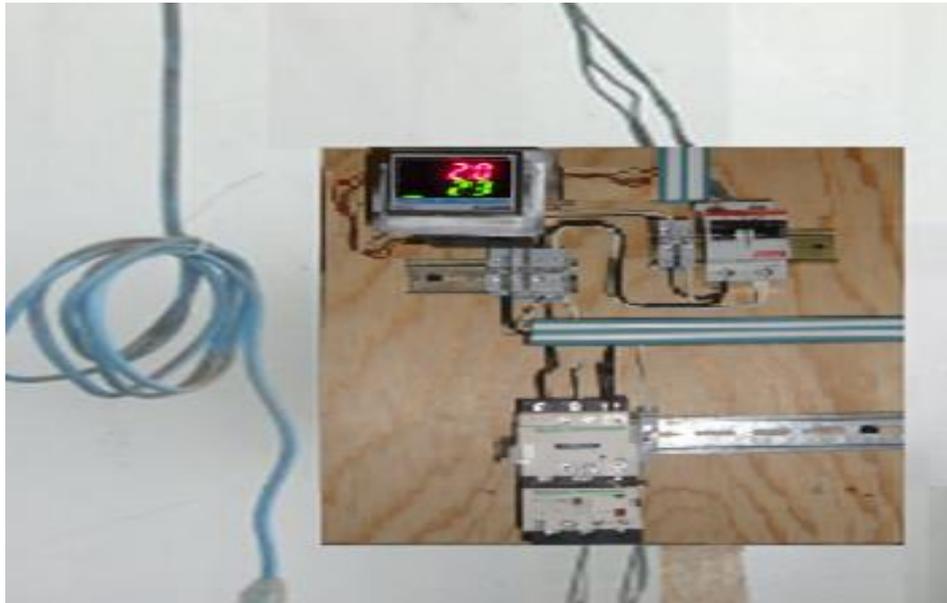


Figura 5.12. Monitoreo de la Temperatura en el Día 10. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en el período de pruebas (Marzo, 2014).

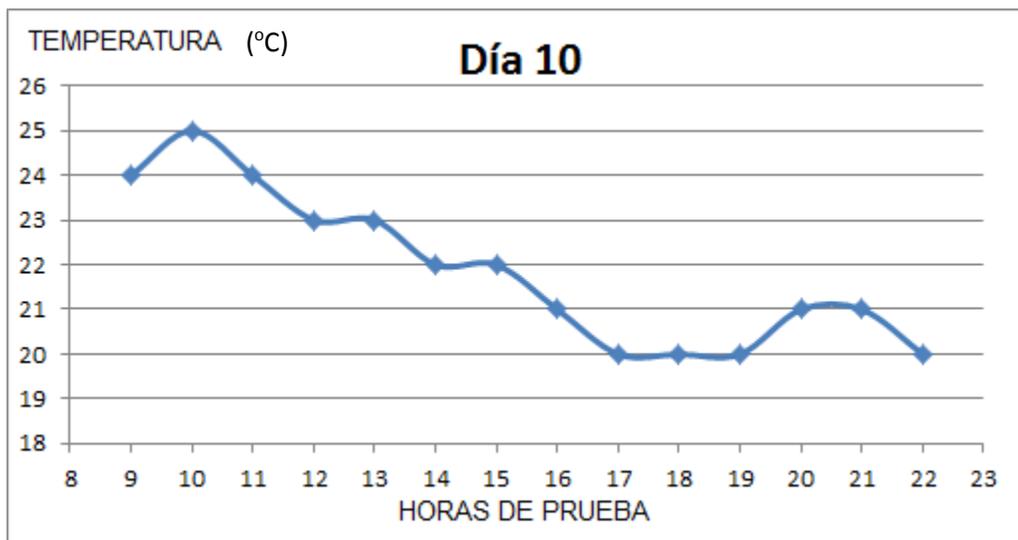


Figura 5.13. Gráfica Durante el Día 10. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en los conocimientos teóricos (Abril, 2014).

La gráfica de la figura 5.13, muestra en este día como el sistema tenía fallas pues se pueden apreciar algunas mediciones fuera del rango programado ( $23^{\circ}\text{C}$ ), por lo que se reajustaron los sensores. La figura 5.14, muestra el monitoreo de la temperatura en el día 15; mientras la gráfica de la figura 5.15 muestra como ya fue corregido el problema de las mediciones fuera de rango, además de que la temperatura se mantiene dentro del Set Point configurado, lo que mejora el funcionamiento del sistema automatizado..

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

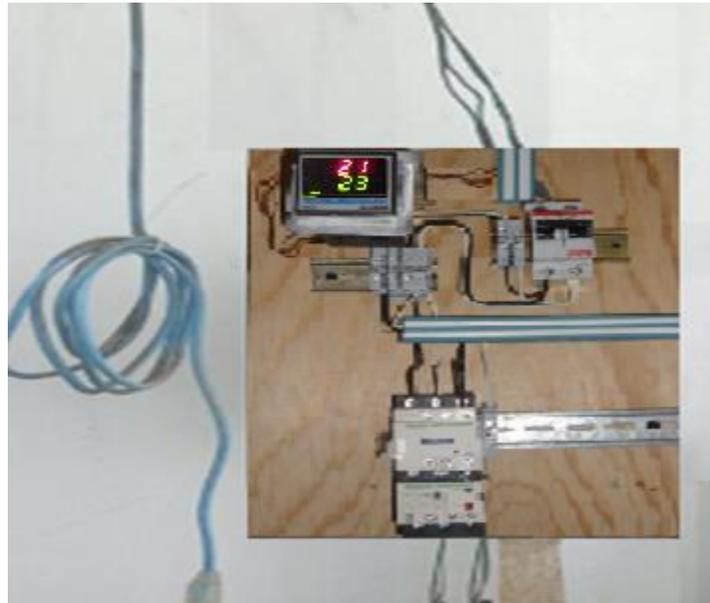


Figura 5.14. Monitoreo de la Temperatura en el Día 15. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en el período de pruebas (Marzo, 2014).

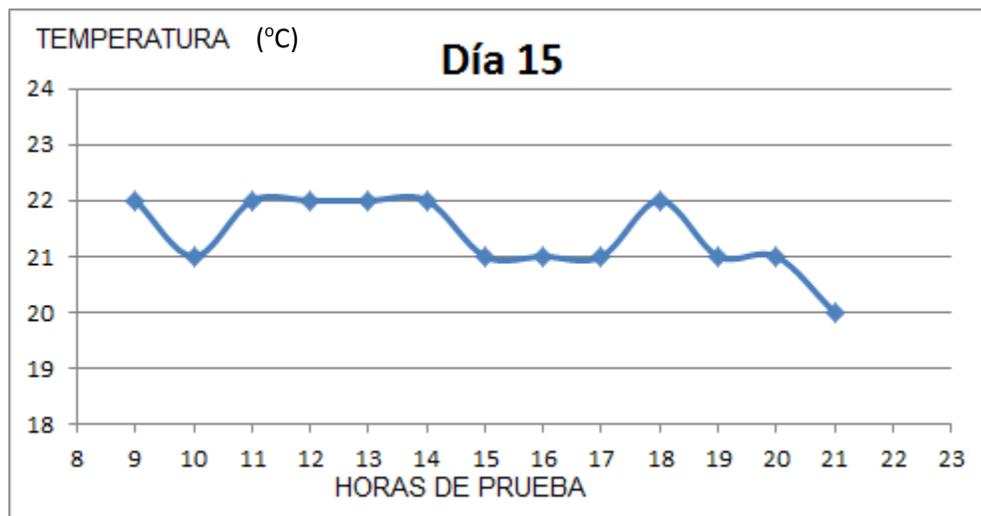


Figura 5.15. Gráfica Durante el Día 15. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en los conocimientos teóricos (Abril, 2014).

Como se muestra en la figura 5.16, se puede observar el monitoreo de la temperatura en el día 20.

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

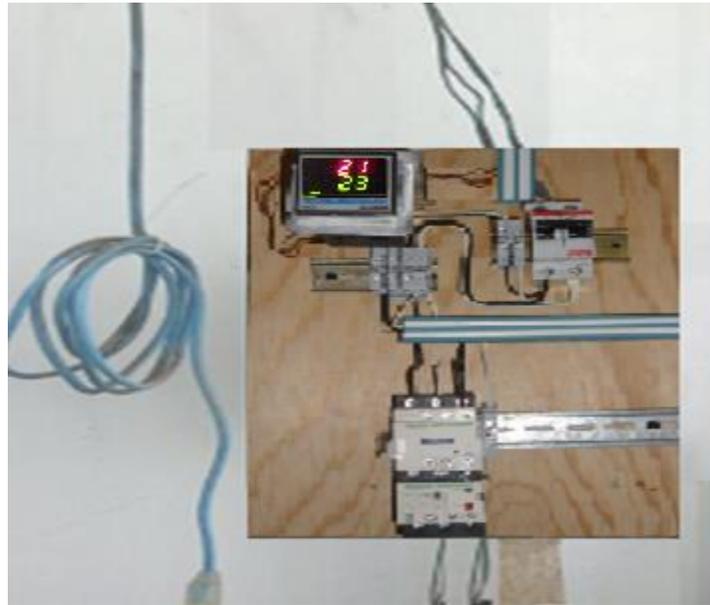


Figura 5.16. Monitoreo de la Temperatura en el Día 20. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en el período de pruebas (Marzo, 2014).

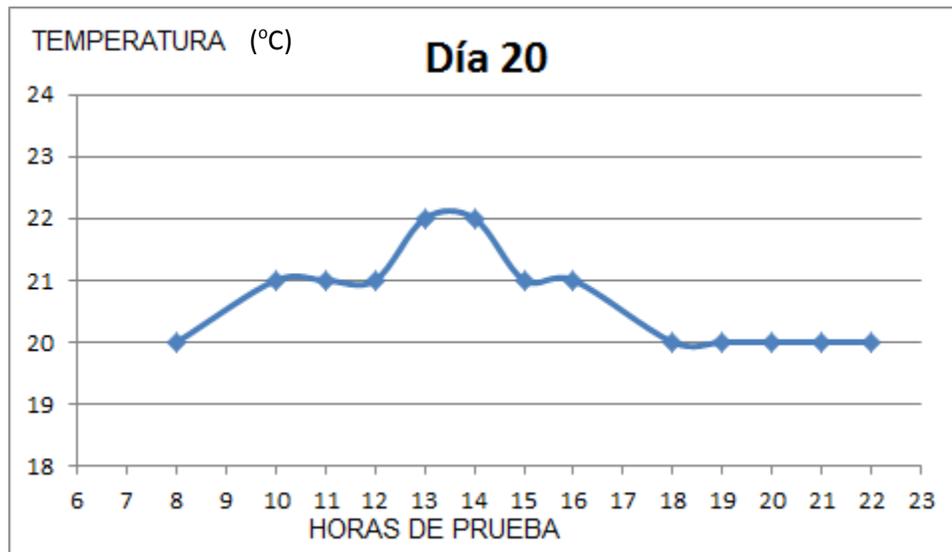


Figura 5.17. Gráfica Durante el Día 20. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en los conocimientos teóricos (Abril, 2014).

La gráfica de la figura 5.17 nos muestra que existen algunas variaciones de temperatura pero en ningún momento salen de los puntos de referencia de la histéresis, de esta forma el sistema no se activa y desactiva continuamente. El monitoreo de la temperatura para el día 25 se muestra en la figura 5.18.

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

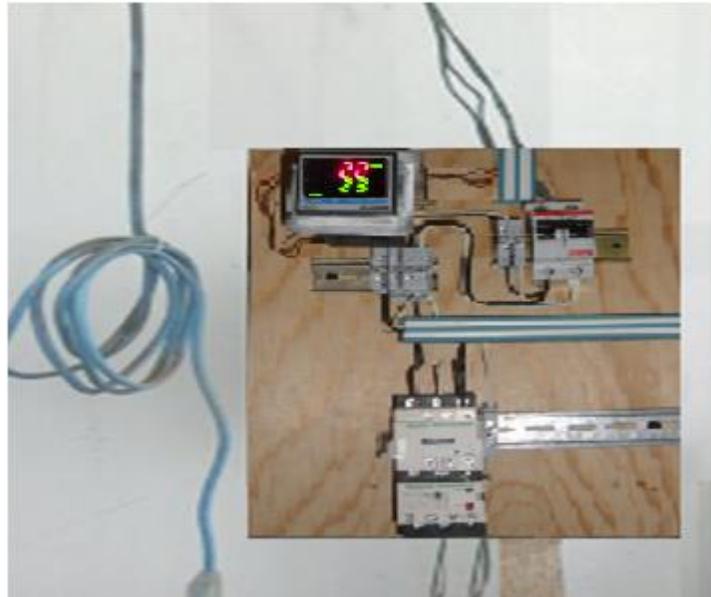


Figura 5.18. Monitoreo de la Temperatura en el Día 25. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en el período de pruebas (Marzo, 2014).

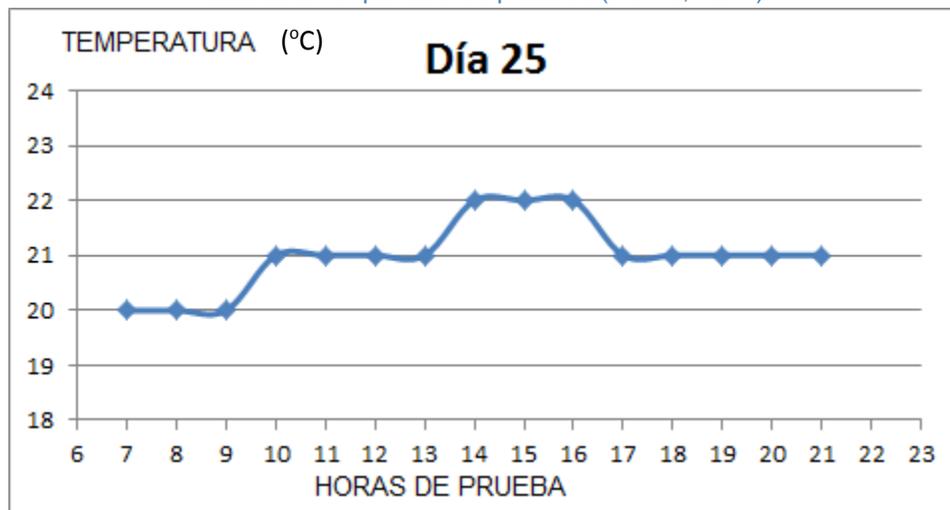


Figura 5.19. Gráfica Durante el Día 25. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en los conocimientos teóricos (Abril, 2014).

En la figura 5.19 la gráfica nos muestra el aumento de temperatura conforme avanzan las horas del día, manteniendo la temperatura dentro de los puntos de operación. En la figura 5.20, se observa el monitoreo de la temperatura en el día 30.

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

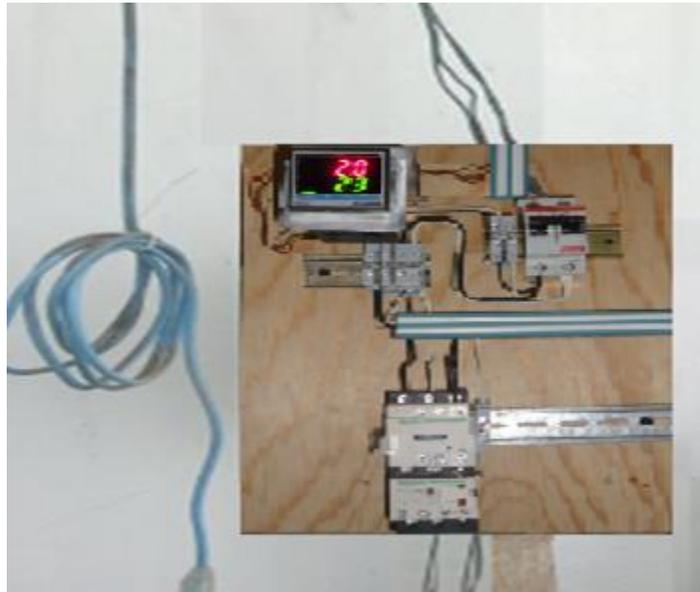


Figura 5.20. Monitoreo de la Temperatura en el Día 30. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en el período de pruebas (Marzo, 2014).

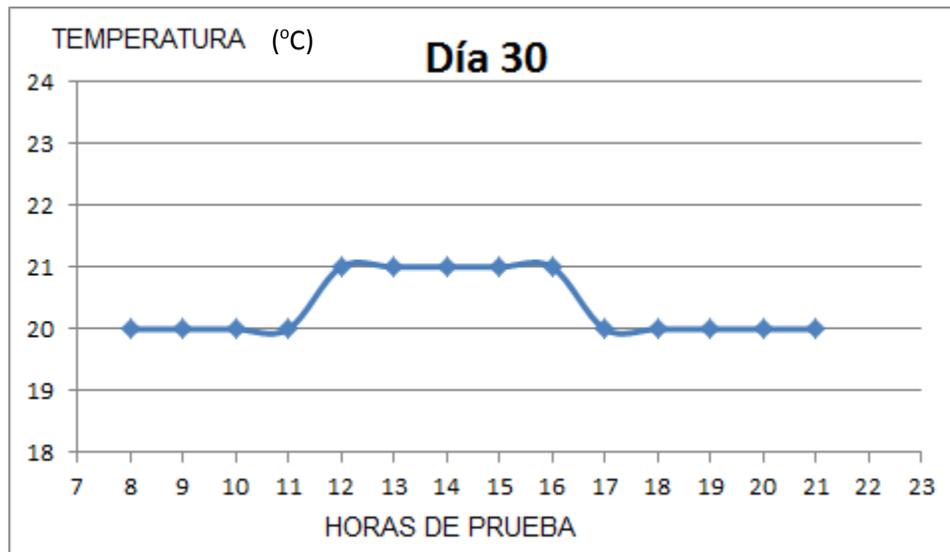


Figura 5.21. Gráfica Durante el Día 30. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en los conocimientos teóricos (Abril, 2014).

En la figura 5.21 la gráfica demuestra un comportamiento estable aunque en esa época del año las temperaturas alcancen puntos altos de hasta 32 grados en esta zona del estado de México, sin embargo se mantiene bajo los parámetros establecidos del controlador. El monitoreo de la temperatura en el día 35, se muestra en la figura 5.22.

## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

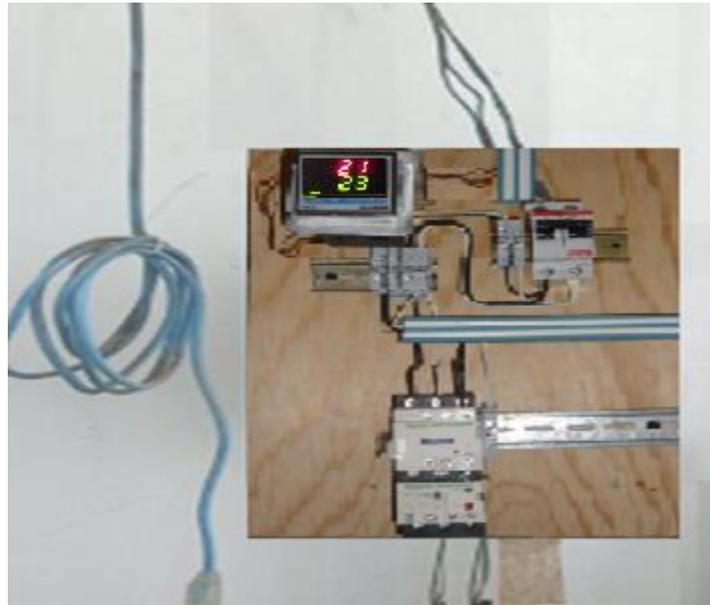


Figura 5.22. Monitoreo de la Temperatura en el Día 35. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en el período de pruebas (Abril, 2014).

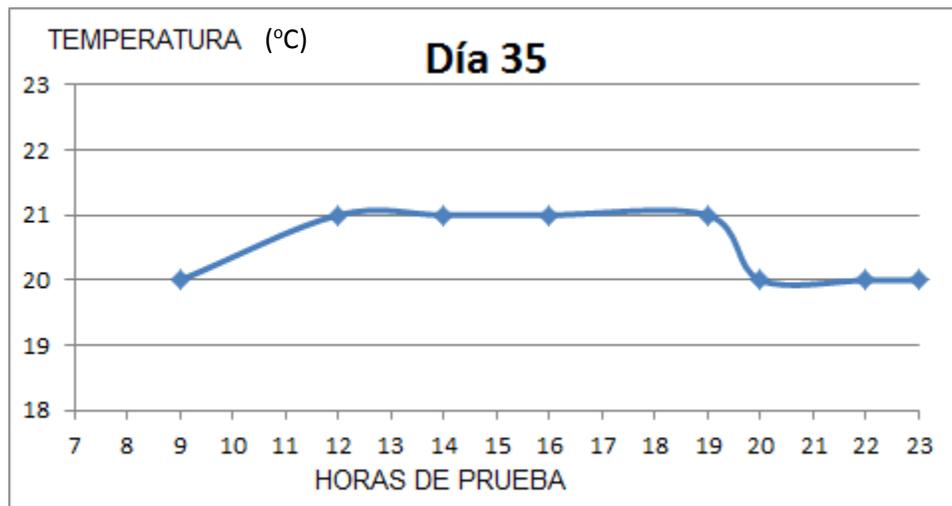


Figura 5.23. Gráfica Durante el Día 35. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en los conocimientos teóricos (Abril, 2014).

La grafica en la figura 5.23 nos muestra el periodo más largo manteniendo la temperatura en un mismo punto que se contempla en las pruebas. La figura 5.24, muestra el monitoreo de la temperatura en el día 41, la gráfica de la figura 5.25 muestra el comportamiento de este día.

# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

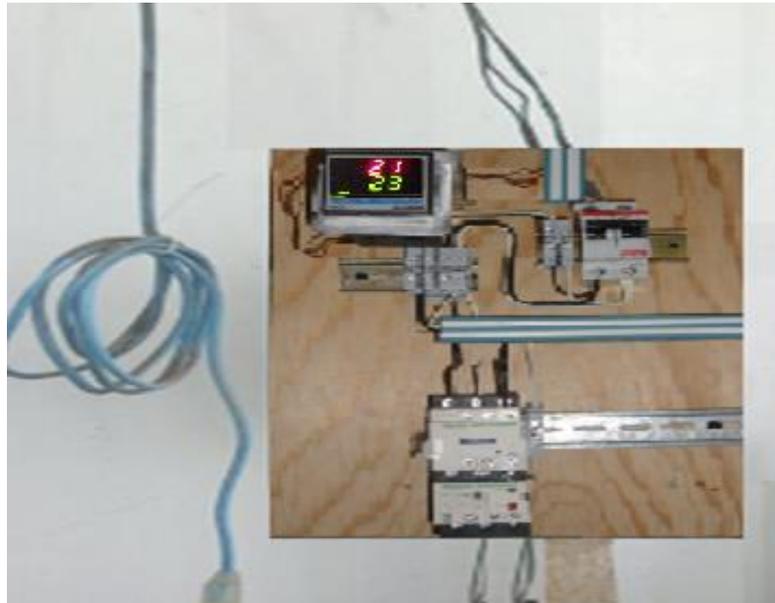


Figura 5.24. Monitoreo de la Temperatura en el Día 41. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en el período de pruebas (Abril, 2014).

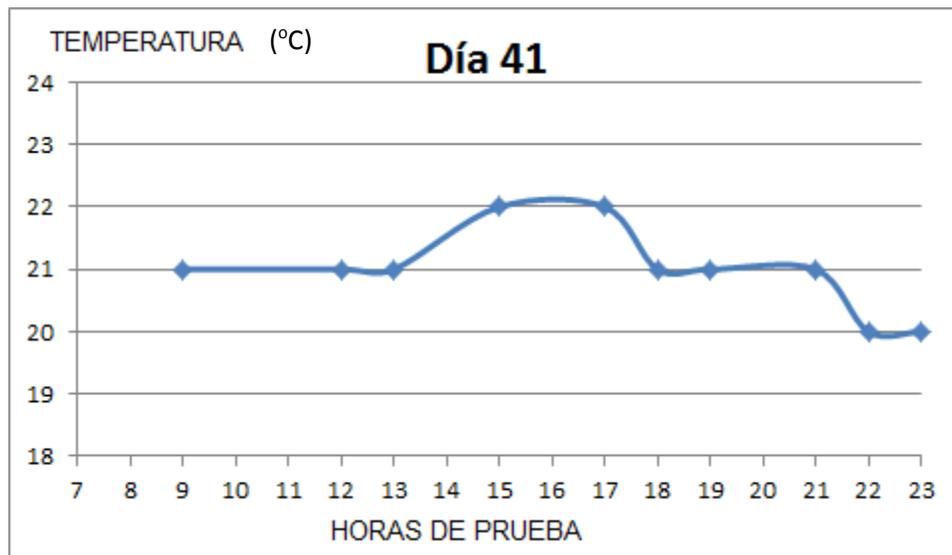


Figura 5.25. Gráfica durante el día 41. Fuente: Elaboración propia de los autores basada en los conocimientos teóricos (Abril, 2014).

Cada una de las gráficas muestra el comportamiento de nuestro sistema de automatización, con el paso de los días se fue mejorando el sistema ya que en los primeros días de prueba aun había detalles que se tenían que corregir, debido a que se alcanzaban temperaturas superiores al punto máximo de la histéresis con la que se programó el controlador, esos detalles se fueron corrigiendo y se comprobó el funcionamiento adecuado de nuestro sistema al hacer comparaciones de hora y temperatura.



# CAPÍTULO 6

## COSTOS DEL PROYECTO



## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

El propósito de este apartado es cuantificar y valorar los costos de equipos, materiales y mano de obra que se utilizó a lo largo de este proyecto en términos monetarios. Se implementaron dispositivos de bajo costo, considerando que los elementos fueran de calidad, fácil configuración, con intervalos de operación que trabajen bajo las condiciones requeridas en el invernadero.

Se implementaron dispositivos en los cuales se aplica un mantenimiento simple y económico, el cual pueda ser realizado por los operadores o encargados del invernadero, además de contar con refacciones fáciles de conseguir. En la tabla 6.1 se muestran los equipos y materiales que se utilizaron en este proyecto, la cual indica la cantidad que se usaron, precio unitario y precio total.

Tabla 6.1. Costo de Equipos/Materiales. Fuente: Elaboración propia de los autores basados en cotizaciones (Diciembre, 2013)

Equipo/Material	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Controlador de Temperatura Marca: Shinko JCS-33A	1	\$ 1,500.00	\$ 1,500.00
Termopar Tipo J	2	\$ 140.00	\$280.00
Clema Marca: legrand	8	\$ 24.00	\$192.00
Riel ó Regleta de 1 metro	1	\$ 32.00	\$ 32.00
Contactador de sobrecarga Marca Schneider Electric	1	\$ 180.00	\$ 180.00
Canaleta de 1 metro	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Tabla de 30 x 30 cm	1	\$ 60.00	\$ 60.00
Interruptor de pastilla Marca Steck	1	\$ 120.00	\$ 120.00
Cable 1 metro Marca Condumex	2	\$6.00	\$12.00
<b>Total de Equipos/Materiales</b>			<b>\$2,426.00</b>

Se realizó la valoración de los gastos de traslado al invernadero, como se muestra en la tabla 6.2 haciendo referencia al reconocimiento del área de trabajo, instalación de equipos, delimitación del área de trabajo, ubicación del tablero de control, considerando un día hábil para cada actividad, se le agrega 10 días hábiles en los que cada miembro asistió al invernadero durante el período de las mediciones de temperatura.



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

Tabla 6.2 Gastos de Traslado al Invernadero. Fuente: Elaboración propia de los autores (Marzo, 2014)

Personal que interviene	Transporte (ida/regreso)	Comida	Traslado	Total
Ing. Baltazar Aguilar Jonathan	\$69.00	\$40.00	14	\$1,526.00
Ing. Enciso Hernández Daniel	\$51.00	\$40.00	14	\$1,274.00
Ing. Vargas Domínguez Michell Antonio	\$97.00	\$40.00	14	\$1,918.00
<b>Total de los Gastos de Traslado</b>				<b>\$4,718.00</b>

La cuantificación del conocimiento en términos monetarios, mostrados en la tabla 6.3, hace referencia a la mano de obra, considerando el número de horas invertidas durante el proyecto, por el precio hora para cada miembro, los datos del costo/hora se tomaron del tabulador de sueldos para el Estado de México, obtenida de la Gaceta del Gobierno del Estado de México en la clasificación de Generales y de Confianza 22-3.

Tabla 6.3.Costo de Mano de Obra. Fuente: <http://www.edomex.gob.mx> (Mayo, 2014)

Personal que intervino	Número de horas	Sueldo Base	Total
Ing. Baltazar Jonathan	110	\$11,497.50	\$11,497.50
Ing. Enciso Daniel	110	\$11,497.50	\$11,497.50
Ing. Vargas Michell	110	\$11,497.50	\$11,497.50
<b>Total de la Mano de Obra</b>			<b>\$34,492.50</b>

El proyecto tiene un costo adicional de un 30% donde se cubre gastos extras en materiales, viáticos, servicios de telefonía entre otras más.

Costo adicional=El Total de Equipos/Materiales + el Total de Gastos de Traslado por el 30%.

Total de Equipos/Materiales	\$2,426.00
Total de Gastos de Traslado	\$4,718.00
	x .30
Costo adicional	\$2,143.20



## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

---

El costo total del proyecto se cuantifico;

Costo total=Total de Equipos/Materiales + el Total de Gastos de Traslado + el Total de Mano de Obra + Costo adicional

Total de Equipos/Materiales	\$2,426.00
Total de Gastos de Traslado	\$4,718.00
Total de Mano de Obra	\$34,492.50
Costo adicional	\$2,143.20
<b>Costo Total</b>	<b>\$43,779.70</b>

El costo Total del proyecto es de \$43,779.70, Cuarenta y tres mil setecientos setenta y nueve con setenta centavos, esta cantidad se compara con el precio de los equipos específicamente dedicados a la automatización y tener a una persona que labore durante ciertas horas por día dentro del invernadero, resultado ser de menor costo comparado con estas dos opciones teniendo en cuenta que lo que se necesita en este proyecto es que sea de bajo costo se realizaron una serie de cotizaciones y comparación de precios para determinar cuál sería el monto aproximado de nuestro sistema

Como se explicó en el capítulo 1, se investigaron empresas como METALISER, HARNOIS, entre otras dichas empresas no solo se dedican al diseño y construcción de invernaderos, sino también cuentan con equipos dedicados específicamente a la automatización de invernaderos, ya sea para el tratado de aguas, sistemas de riego, control climático, etc.

Estas empresas cuentan con su propia página de internet donde muestran sus equipos y mencionan algunas especificaciones de sus equipos lo único que no muestran son los precios, por lo que tuvimos que ponernos en contacto con algún encargado para que nos brindara esta información, la forma en que nos comunicamos fue vía telefónica en donde nos explicaron que dependiendo de qué tan sofisticado sea la automatización aumentará el precio, además nos mencionaron que no solo se puede adquirir un controlador o un sensor por separado, por el contrario se tiene que comprar por paquete el cual incluye sensores, controlador, elementos de finales de control (ventiladores, calefactores, dosificadores, etc), software especial para monitoreo de temperatura, humedad, tiempo estimado del cultivo dándonos un precio aproximado de \$100,000 a \$130,000 pesos, esto representa una desventaja ya que el invernadero cuenta con el ventilador y calefactor, se decidió usar estos equipos.

Otro punto a considerar es contratar alguna persona con un sueldo para que este dentro del invernadero trabajando y monitoreando el cultivo de forma manual, es decir, abriendo y cerrando las cortinas a criterio de la persona, sin embargo esta persona debiera tener experiencia sobre el cultivo de jitomate para que tome estas decisiones. Podría representar una ventaja el tener a esta persona con un sueldo base ya que el sueldo sería menor que el costo del proyecto pero si se hace un análisis a futuro se volvería costoso el tener a esta persona.



## Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.

---

Al analizar los costos para implementar equipos de empresas encargadas a la automatización de invernaderos o tener a una persona encargada para que abra o cierre las cortinas, resultaría costoso sin embargo la inversión, es menor comparado con la idea de implementar algún equipo de una empresa, se haría al inicio y en un tiempo se recuperaría la inversión todo dependería del valor que del jitomate cuando este estuviera ya maduro y listo para su venta, ya que este valor es variable dependiendo de la oferta y de la demanda en el mercado.



# CONCLUSIONES



# Diseño e Implementación de un Dispositivo Digital para el Control de la Temperatura en un Invernadero de Tomate.



## CONCLUSIONES

En la actualidad el sector agroalimentario se ha visto afectado por los cambios del medio ambiente, dichos cambios climáticos afectan directamente a cualquier cultivo, para este caso se aplicó en un invernadero de jitomate, la variable que tiene mayor importancia para el desarrollo, crecimiento y maduración que es la temperatura, por tal motivo el objetivo de este proyecto fue atacar la problemática que afecta de manera directa al cultivo.

En este proyecto se demostró la utilidad del control ON/OFF por histéresis configurado en un controlador de temperatura, las mediciones realizadas fueron medidas por los termopares tipo J, el cual cumplió con los requerimientos de operación del proceso, es decir, abarcó los rangos de medición requeridos para el cultivo, los cuales se encuentran en un valor de 17 - 23°C.

La automatización del invernadero permitió mantener la temperatura adecuada para el cultivo de jitomate establecida por la SAGARPA, cuyos valores deben oscilar entre los 20 y 22°C, el control ON/OFF por histéresis configurado en el controlador de temperatura, tuvo una relevancia importante en el invernadero, permitiendo mantener una temperatura de operación, por otro lado con ayuda de los elementos finales de control (calefactor y ventilador), accionados por el controlador, permitieron que la temperatura se mantuviera en los rangos de operación, con estas temperaturas el cultivo tuvo un mejor desempeño en el desarrollo, crecimiento y maduración.

Las mediciones realizadas durante los días de pruebas, se observó que durante los primeros 9 días de monitoreo, la temperatura progreso de manera inmediata a los requerimientos de operación del cultivo, hasta alcanzar la temperatura de operación establecida por requerimientos de la SAGARPA, para el cultivo de jitomate.

Con el monitoreo de la temperatura constantemente y los valores obtenidos que oscilaron entre los 20 y 22°C, la SAGARPA hace mención que “La temperatura entre 20 y 22°C, el jitomate se desarrolla mejor al presentar una actividad fotosintética más alta” [13], se concluye que los valores obtenidos fueron los esperados y adecuados para el cultivo de jitomate.

Con este proyecto se cumplió con los objetivos tanto el general como los específicos, los cuales abarcaron la automatización del invernadero, de manera que el costo del proyecto es accesible y de fácil acceso para los operadores, es importante mencionar que el proyecto a futuro puede tener mejoras.



# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Monografía de cultivos de la Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios Jitomate (SFA) SAGARPA.
- [2] <http://www.innatia.com/s/c-huerta-organica/a-que-es-un-invernadero.html>
- [3] Simulación y control de temperatura dentro de un invernadero- Hernando Pérez Rojas y Martin De Paul Cortes- Universidad de la SALLE.
- [4] Tipos-de-invernaderos-pdf.
- [5]<http://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/77307-Control-climatico-en-invernaderos.html>
- [6][http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion\\_publicaciones/horticola/jitomate/index.htm](http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion_publicaciones/horticola/jitomate/index.htm)
- [7][http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion\\_publicaciones/horticola/jitomate/groups/public/documents/edomex\\_archivo/icamex\\_arc\\_jitomate.pdf](http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion_publicaciones/horticola/jitomate/groups/public/documents/edomex_archivo/icamex_arc_jitomate.pdf)
- [8] <http://www.metaliser.com/riego-control.php>
- [9]<http://www.priva-international.com/es/soluciones-y-productos/horticultura/el-control-del-clima-en-horticultura/>
- [10]<http://www.harnois.com/es/equipos-de-invernadero/equipos-de-invernadero.html>
- [11] <http://www.metrinq.com/notes/HI-10-60-MT2009.pdf>
- [12] [http://www.webddigital.com/fabricantes/shinko/pdf/shinko\\_brochure\\_SP.pdf](http://www.webddigital.com/fabricantes/shinko/pdf/shinko_brochure_SP.pdf)
- [13] Norma Mexicana para el Diseño y Construcción de Invernaderos (AMCI), NMX-E-255-CNCP-pdf.
- [14] <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article104177>