



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLÁN

MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO

EN INVERNADEROS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERIO AGRÍCOLA

PRESENTA:

ALFREDO ANASTASIO RODRÍGUEZ TAPIA

ASESORA: M.C. ANA MARÍA MARTÍNEZ GARCÍA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
ASUNTO: VOTO APROBATORIO
EXAMENES PROFESIONALES

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.**
EXAMENES PROFESIONALES

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO EN INVERNADEROS

Que presenta el pasante: **ALFREDO ANASTASIO RODRÍGUEZ TAPIA**
Con número de cuenta: **08662105-4** para obtener el Título de: **Ingeniero Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 25 de Septiembre de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. Arturo Leodegario Ortiz Cornejo	
VOCAL	Dr. Carlos Gómez García	
SECRETARIO	M.C. Ana María Martínez García	
1er SUPLENTE	Ing. Francisco Javier Vega Martínez	
2do SUPLENTE	Ing. José Luz Hernández Castillo	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).
En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.
(Art 127 REP)
HHA/Vc

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por prestarme vida para concluir esta etapa tan importante y por escucharme en esos momentos difíciles.

Mi más profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México mi “alma máter” por darme la oportunidad de ser parte de ella.

A mis padres Don Gilberto y Yolanda (mi muñeca), a quienes debo la vida y agradezco profundamente el enorme esfuerzo que hicieron por apoyarme en todo momento. Por sus grandes consejos, valores y ejemplos de vida de los cuales me siento orgulloso.

A mis hermanos: Todos, por ser parte del gran equipo que formaron nuestros padres y porque siempre están ahí para escucharme y apoyarme.

A mi hijo Carlos Ricardo por su apoyo y confianza en la realización de este proyecto.

A mi asesora la profesora M.C. Ana María Martínez García por su orientación y confianza en la realización de este trabajo.

A los miembros del H. Jurado: Ing. Arturo Leodegario Ortiz Cornejo, Dr. Carlos Gómez García, M.C. Ana María Martínez García, Ing. Francisco Javier Vega Martínez, Ing. José Luz Hernández Castillo por sus valiosas aportaciones y comentarios.

A mis compañeros y amigos Edgar Fernández y Gerardo Cervantes por haberme apoyado y alentado en los momentos difíciles, y por todas esas personas que en algún momento participaron en la historia de mi vida.

A mi hermano Eliseo a quien debo gran parte de los conocimientos que me han formado.

A mi hermanita Tere por estar siempre presente en todos los momentos de mi vida.

DEDICATORIA.

A mis hijos Alejandra y Ricardo, porque lo importante de un sueño es la lucha y el esfuerzo que se hace para lograr alcanzarlo LOS QUIERO.

A mis sobrinos, porque con sus juegos, risas y gritos, me recuerdan lo bella que es la vida, porque hoy tengo la oportunidad de darles un ejemplo de lucha por alcanzar un sueño.

NO OLVIDEN SER FELICES HOY, MAÑANA Y SIEMPRE.

“Hay hombres que luchan un día y son buenos.

Hay otros que luchan un año y son mejores.

Hay quienes luchan muchos años, y son muy buenos.

Pero hay los que luchan toda la vida, esos son los imprescindibles.”

Bertolt Brecht

(1898-1956) Dramaturgo y poeta alemán.

ÍNDICE

Índice de cuadros	vi
Índice de figuras	viii
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN.	1
II. JUSTIFICACIÓN.	2
III. OBJETIVOS.	3
IV. MARCO TEÓRICO.	4
4.1 Sistema de automatización.	4
4.1.1 Sistema de lazo abierto.	5
4.1.2 Sistema de lazo cerrado.	6
4.1.3 Amplificadores de señal.	7
4.1.3.1 Relevadores.	8
4.1.3.2 Contactores.	9
4.1.3.3 Arrancadores.	10
4.2 Factores que pueden controlarse dentro de un invernadero.	11
4.2.1 Ventajas de la automatización.	11
4.2.2 Desventajas.	12
4.3 Niveles de automatización en los invernaderos.	12
4.3.1 Nivel bajo.	12
4.3.2 Nivel medio.	13
4.3.3 Nivel alto.	13
4.3.4 Altamente tecnificados o inteligentes.	13

4.4 Sistema de automatización de un invernadero.	14
4.4.1 Partes del sistema para el control de la temperatura.	15
4.4.1.1 Sensores de temperatura.	15
4.4.1.1.1 Sensores termoelectricos o termopares.	16
4.4.1.1.2 Sensores resistivos de temperatura.	16
4.4.1.1.3 Sensores de tipo termistor.	18
4.4.1.1.4 Sensores de circuitos integrados.	19
4.4.1.2 Controles de temperatura.	21
4.4.1.2.1 Características del control de temperatura.	21
4.4.1.2.2 Conexiones del control de temperatura.	23
4.4.1.3 Actuadores del sistema para el control de la temperatura.	24
4.4.1.3.1 Sistema de calefacción.	24
4.4.1.3.1.1 Sistema de calefacción por convección.	25
4.4.1.3.1.2 Sistema de calefacción por conducción.	28
4.4.1.3.1.3 Sistema de calefacción por conducción y radiación.	28
4.4.1.3.2 Sistema de ventilación.	30
4.4.1.3.2.1 Ventilación natural o pasiva.	32
4.4.1.3.2.2 Ventilación forzada.	33
4.4.2 Sistema para el control del riego.	35
4.4.2.1 Partes del sistema para el control del riego.	36
4.4.2.1.1 Sensores de humedad para el control del riego.	37
4.4.2.1.2 Controladores de riego.	38
4.4.2.1.2.1 Características del control de riego.	39
4.4.2.1.2.2 Conexión del control de riego.	42
4.4.2.1.3 Actuadores del sistema para el control del riego.	43
4.4.2.1.3.1 Motobomba para el riego.	44

4.4.2.1.3.2 Válvula solenoide.	45
4.4.3 Sistema para el control de la humedad relativa	45
4.4.3.1 Partes del sistema para el control de la humedad relativa.	46
4.4.3.1.1 Sensores para el control de la humedad relativa.	47
4.4.3.1.2 Controlador para la humedad relativa.	48
4.4.3.1.2.1 Características del control de humedad relativa.	49
4.4.3.1.2.2 Conexión del control de humedad relativa.	51
4.4.3.1.3 Actuadores del sistema para el control de la humedad relativa.	52
4.4.4 Sistema para el control de la luz.	52
4.4.4.1 Partes del sistema para el control de la luz.	53
4.4.4.2 Sensores de luz.	53
4.4.4.3 Controladores de luz.	54
4.4.4.4 Actuadores para el sistema de control de luz.	55
4.4.5 Sistema para el control de CO ₂ .	56
4.4.5.1 Partes del sistema para el control de CO ₂ .	56
4.4.5.1.1 Sensores de CO ₂ .	57
4.4.5.1.2 Controlador de CO ₂ .	58
4.4.5.1.3 Actuadores del sistema para el control de CO ₂ .	58
4.4.6 Sistema de control integral (PLC).	59
4.4.6.1 Partes del sistema integral.	60
4.4.6.1.1 Controlador lógico programable (PLC).	60
4.4.6.1.2 Sensores del PLC.	62
4.4.6.1.3 Controladores del sistema integral.	63
4.4.6.1.4 Amplificadores de señal del PLC.	63
4.4.6.1.5 Actuadores del sistema integral.	64

4.5 Mantenimiento.	65
V. METODOLOGÍA.	69
VI. PROTOCOLO GENERAL DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL INVERNADERO.	70
6.1 Mantenimiento del sistema para el control de la temperatura.	77
6.1.1 Sensores de temperatura.	77
6.1.2 Control de temperatura.	79
6.1.3 Amplificadores de señal.	80
6.1.4 Actuadores para el control de la temperatura.	83
6.1.4.1 Sistema de calefacción.	84
6.1.4.1.1 Generador de calor de combustión directa.	84
6.1.4.1.2 Generador de calor de combustión indirecta.	87
6.1.4.1.3 Mantenimiento del quemador.	89
6.1.4.1.4 Mantenimiento de la caldera.	90
6.1.4.2 Ventilación natural.	93
6.1.4.3 Ventilación forzada.	95
6.2 Mantenimiento del sistema para el control del riego.	97
6.2.1 Sensores de humedad.	98
6.2.2 Controlador de riego.	98
6.2.3 Actuadores para el control de riego.	100
6.3 Mantenimiento del sistema para el control de la humedad relativa.	101
6.3.1 Sensores de humedad relativa.	101
6.3.2 Controladores de humedad relativa.	102
6.3.3 Actuadores para el control de la humedad relativa.	103

6.4	Mantenimiento del sistema para el control de la luz.	105
6.4.1	Sensores de luz.	106
6.4.2	Actuadores para el control de la luz.	106
6.5	Sensores de CO ₂ .	108
6.5.1	Actuadores para el control del CO ₂ .	108
6.6	Mantenimiento del sistema para el control integral.	109
6.6.1	Sensores.	110
6.6.2	Controladores.	111
6.6.3	Controlador integral (PLC).	111
VII.	ANÁLISIS DEL PROTOCOLO	113
VIII.	CONCLUSIONES.	115
IX.	RECOMENDACIONES.	116
X.	BIBLIOGRAFIA.	117
XI	ANEXO	119

ÍNDICE DE CUADROS

		página
Cuadro 1.	Características de los sensores resistivos de temperatura más comunes.	18
Cuadro 2.	Conexiones del control de temperatura.	24
Cuadro 3.	Partes del calefactor de combustión indirecta.	26
Cuadro 4.	Partes del calefactor tipo cañón.	27
Cuadro 5.	Especificación técnica del controlador PAR-99X-M.	42
Cuadro 6.	Conexiones del temporizador Data Log 2.	43
Cuadro 7.	Conexiones del control de humedad N323RHT.	51
Cuadro 8.	Mantenimiento semanal.	73
Cuadro 9.	Mantenimiento mensual.	74
Cuadro 10.	Mantenimiento semestral.	75
Cuadro 11.	Mantenimiento anual.	76
Cuadro 12.	Precauciones y consideraciones al usar sensores de temperatura.	78
Cuadro 13.	Recomendaciones para identificar la falla del controlador de temperatura.	80
Cuadro 14.	Posibles fallas del equipo y puntos de revisión para el mantenimiento del generador de calor directo.	85
Cuadro 15.	Posibles fallas del equipo y puntos de revisión para el mantenimiento del intercambiador de calor.	89
Cuadro 16.	Posibles fallas del equipo y puntos de revisión para el mantenimiento del generador de calor indirecto.	90
Cuadro 17.	Posibles fallas del equipo y puntos de revisión para el mantenimiento de una caldera.	93
Cuadro 18.	Recomendaciones para el mantenimiento de la ventilación natural.	94
Cuadro 19.	Posibles fallas del equipo y puntos de revisión para el mantenimiento de la ventilación natural.	95
Cuadro 20.	Recomendaciones para el mantenimiento de la ventilación forzada.	96
Cuadro 21.	Posibles fallas del equipo y puntos de revisión para el mantenimiento de los ventiladores.	96
Cuadro 22.	Recomendaciones para identificar la falla del controlador de riego.	99
Cuadro 23.	Recomendaciones para identificar la falla del temporizador que controla el riego.	99
Cuadro 24.	Recomendaciones de mantenimiento de la motobomba de riego.	100
Cuadro 25.	Recomendaciones para identificar la falla de la válvula solenoide.	102
Cuadro 26.	Recomendaciones para identificar la falla del evaporador.	103
Cuadro 27.	Recomendaciones para identificar la falla en la pared húmeda.	105

Cuadro 28	Recomendaciones para identificar la falla en el control de la malla sombra.	107
Cuadro 29	Recomendaciones para identificar la falla en el control de CO ₂ .	109
Cuadro 30	Recomendaciones para el mantenimiento del sistema integral de control.	110

ÍNDICE DE FIGURAS

	página	
Figura 1.	Sistema de control de lazo abierto.	6
Figura 2.	Sistema de control de lazo cerrado.	6
Figura 3.	Amplificadores de señal A) Relevador B) Contactor.	8
Figura 4.	Relevador controlado con un microcontrolador.	9
Figura 5.	Contactor controlando el arranque de un motor.	9
Figura 6.	Arrancadores para motores de corriente alterna.	10
Figura 7.	Sistema de automatización de un invernadero.	14
Figura 8.	Sistema para el control de la calefacción y la ventilación.	15
Figura 9.	Termopar tipo J.	16
Figura 10.	Símbolo del RTD	16
Figura 11.	Vista interna de una termorresistencia.	17
Figura 12.	Sensores resistivos de temperatura.	19
Figura 13.	Diagrama de conexión del sensor de temperatura LM335.	20
Figura 14.	Diagrama de conexión del sensor de temperatura DS18B20.	20
Figura 15.	Diferentes tipos de sensores de temperatura.	21
Figura 16.	Control de temperatura.	23
Figura 17.	Diagrama de conexión del control de temperatura.	23
Figura 18.	Generador de aire caliente de combustión indirecta.	25
Figura 19.	Generadores de aire caliente de combustión directa (cañón).	26
Figura 20.	Vista interna del funcionamiento del calentador tipo cañón.	27
Figura 21.	Piso térmico generado por la circulación de agua caliente en tuberías de polipropileno.	28
Figura 22.	Sistema de calefacción por convección y radiación generado por la circulación de agua caliente en tuberías de hierro y polipropileno.	29
Figura 23.	Sistema para el control de la calefacción.	30
Figura 24.	Ventilación natural.	31
Figura 25.	Control de la ventilación usando un ordenador (PLC).	31
Figura 26.	Ventilación natural por medio de ventilación lateral y cenital.	32
Figura 27.	Ventilación forzada por medio de ventiladores y extractores.	33
Figura 28.	Ventilación forzada por medio de paredes húmedas.	34
Figura 29.	Sistema para el control de la ventilación.	34
Figura 30.	Sistema para el control del riego.	36
Figura 31.	Tensiómetro con manómetro.	37
Figura 32.	Tensiómetro con convertidor de señal de 4-20 mA.	38
Figura 33.	Funcionamiento de un sensor de conductividad en sustrato tipo soil-moisture.	38

Figura 34.	Temporizadores que se utilizan dentro del sistema de riego.	39
Figura 35.	Relevador de tiempo (temporizadores) Data Log 2.	40
Figura 36.	Control digital de humedad PAR 99X-MA.	41
Figura 37.	Diagrama de conexión del Data Log 2.	43
Figura 38.	Sistema para el control del riego.	44
Figura 39.	Motobomba de un sistema de riego.	45
Figura 40.	Válvula solenoide para el control del riego.	45
Figura 41.	Sistema para el control de la humedad relativa.	47
Figura 42.	Sensor de humedad HS1101.	48
Figura 43.	Humidostatos A) Mecánico B) Digital.	49
Figura 44.	Humidostato digital N323RHT.	50
Figura 45.	Diagrama de conexión del controlador N323RHT.	51
Figura 46.	Sistema para el control de la humedad relativa.	52
Figura 47.	Fotorresistencia LDR.	54
Figura 48.	Fotocelda para el control de la luz.	55
Figura 49.	Diagrama para el control de luz.	55
Figura 50.	Diagrama para el control de la malla sombra.	56
Figura 51.	Sistema para el control de CO ₂ .	57
Figura 52.	Sensor de CO ₂ .	57
Figura 53.	Sistema para el control del CO ₂ atmosférico.	59
Figura 54.	Sistema de control de lazo cerrado en un invernadero controlado por un PLC.	60
Figura 55.	PLC Millenium 3.	61
Figura 56.	Diagrama de bloques de la función del PLC Millenium 3.	62
Figura 57.	Sensores del PLC Millenium 3.	63
Figura 58.	Amplificadores de señal del PLC.	64
Figura 59.	Sistema de automatización de un invernadero controlado por un PLC.	65
Figura 60.	Diagrama de la configuración del mantenimiento.	66
Figura 61.	Diagrama de flujo. Verificación del sistema automatizado	70
Figura 62.	Diagrama estructural de un panel de control con PLC	71
Figura 63.	Diagrama de bloques de la función del programador Millenium 3	72
Figura 64.	Relevador electromecánico.	81
Figura 65.	Relevador de estado sólido.	81
Figura 66.	Vista interna de un contactor.	82
Figura 67.	Relevador bimetálico.	82
Figura 68.	Diagrama de conexión del gas de un calentador tipo cañón	84
Figura 69.	Diagrama eléctrico para un grupo de cuatro calefactores.	86
Figura 70.	Diagrama eléctrico para la conexión de seis calefactores independientes.	87

Figura 71.	Vista interna del intercambiador de calor.	88
Figura 72.	Partes principales del funcionamiento de una caldera.	92
Figura 73.	Flujo de la señal del sistema para el control del riego.	97
Figura 74.	Vista interna de la válvula solenoide para el control del riego.	101
Figura 75.	Diagrama para el control de la malla sombra con tarjeta de sincronía.	106

RESUMEN

El monitoreo de las variables ambientales dentro de un invernadero constituyen una parte importante en la toma de decisiones sobre las prácticas culturales y el manejo en general de los cultivos producidos bajo estos sistemas. La automatización para el control de la temperatura, riego, humedad, luz y contenido de CO₂, requiere de un mantenimiento constante que dé la certeza de un buen funcionamiento. Para ello es indispensable que el encargado de la producción conozca los puntos esenciales que deben ser revisados para que el equipo se mantenga en óptimas condiciones. El presente trabajo tiene por objeto dar una guía de mantenimiento preventivo del equipo de automatización de un invernadero; para ello se realiza la descripción detallada del sistema automatizado comenzando por los sensores, los actuadores y finalmente por el controlador lógico programable, con la finalidad de armar un módulo de PLC, y determinar las fallas del sistema, a fin de presentar el protocolo de revisión para el mantenimiento del sistema automatizado de un invernadero altamente tecnificado.

A partir del modelo de PLC y del diagrama de funcionamiento, se identificaron los modos de falla que representan un mayor riesgo para la instalación, considerando los riesgos a la producción. Los modos de falla de mayor riesgo, son considerados para realizar la descripción de mantenimiento detallado, mientras que los modos de falla de medio y bajo riesgo, son tratados con un proceso genérico. Esto permite identificar las áreas donde el mantenimiento tendrá una mejor oportunidad para impactar en la confiabilidad de la instalación

Los resultados obtenidos a partir del modelo de PLC, permite no solo diseñar y definir las acciones a implementar para administrar el riesgo, ya sea con un plan de mantenimiento o con alguna otra acción, sino que también permiten tener un entendimiento claro del proceso manejado en un invernadero, así como la forma en la que los instrumentos pueden fallar, siendo esto último la parte fundamental del análisis. Las recomendaciones finales para cada sistema evaluado en la instalación, en cuanto a las acciones a seguir para la planeación del mantenimiento, se presentan a través de cuadros donde se describe la falla, la causa y la solución.

I. INTRODUCCIÓN.

En México a partir de los noventas, la producción de cultivos bajo cubierta se incrementó de manera considerable, pero es sólo hasta principios del 2000, cuando la producción en sistemas protegidos se implementó de forma más común. Inicialmente se tenían sistemas de monitoreo con instrumentos que sólo median las variables de interés, posteriormente, se incluyó el control de estos procesos y su automatización (2000agro, 2006).

En este contexto, es necesario definir las condiciones óptimas de crecimiento y desarrollo de las plantas, tanto medioambientales como de fertirrigación para lo que se deben diseñar e implementar sistemas que sean capaces de conseguir que el rendimiento potencial del cultivo sea el máximo, a través de los modelos mencionados (Benavente, 2000).

El uso de controladores climáticos en ambientes protegidos ayuda a manipular los diferentes factores climáticos a través de la ventilación, la calefacción, pantallas térmicas o de sombreado, humidificación, recirculadores, las alarmas y los diferentes programas. Con este sistema se asegura el control de los parámetros ambientales, de forma que se puede adelantar la siembra y la cosecha, saliendo al mercado cuando los precios son más favorables, y también se mejoran la calidad de los productos para que sean considerados la mejor opción en el mercado. En la actualidad la automatización no sólo se utiliza como una herramienta para hacer más eficiente el manejo de los cultivos, sino también para obtener parámetros de medición que ayuden a las nuevas generaciones de productores a tomar decisiones precisas para un mejor manejo de las plantas. Esto propicia que los distintos sistemas de producción sean cada vez más independientes de los factores climáticos externos y de los errores humanos (Bastida, 1999).

Las variables que influyen en la producción dentro de un invernadero son: humedad del suelo, temperatura y humedad del aire, radiación solar, velocidad y dirección del viento, conductividad y pH (acidez) en suelo. Todas estas variables están directamente relacionadas con el nivel de estrés de las plantas y con las condiciones meteorológicas. El control de estas variables tiene como objetivo crear una atmósfera adecuada para el buen desarrollo de un cultivo, estos sistemas pueden actuar de manera individual o en conjunto organizados por un autómata o PLC (Controlador Lógico Programable) (Padovani, 2003).

Los invernaderos requieren de un sistema de control integral para regular los factores que inciden en el desarrollo del cultivo, de esta misma forma se precisa de una mayor especialización en el manejo de los sistemas que se encargan del control automatizado (Rivera, 2007 y Serres, 1997).

Es por esto que en el presente trabajo se plantea caracterizar un sistema básico de control y como es que se integran los diferentes sistemas al PLC para poder hacer un control inteligente del invernadero, así como identificar los principales puntos de verificación en el mantenimiento de estos sistemas para dar una herramienta de soporte a los ingenieros agrícolas encargados del manejo de sistemas automatizados en invernaderos

II. JUSTIFICACIÓN.

El manejo de sistemas automatizados en invernaderos, actualmente representa una prioridad dentro de la agricultura moderna, ya que estos ayudan a monitorear las condiciones en las que se desarrolla la producción y por lo tanto a favorecerla.

Debido al incremento considerable de tecnología en el campo mexicano, se tiene la necesidad de implementar una estrategia que nos permita tener el conocimiento básico necesario para poder tener en buen estado los equipos que componen los diferentes sistemas automatizados.

Para mantener los equipos en buenas condiciones de trabajo, es necesario conocer el funcionamiento y las necesidades de servicio que requiere cada uno de ellos, para lo cual se requiere hacer una descripción y demostración de los diferentes sistemas que lo componen.

El conocer la función de los diferentes sistemas automatizados, facilita como ingenieros agrícolas, la posibilidad de manejar de manera adecuada los protocolos de mantenimiento necesarios para atender de manera inmediata la corrección o reparación del sistema que se encuentre averiado, sin la necesidad de esperar la llegada del técnico especialista o en su defecto poder tomar la decisión de llamarlo en el momento oportuno para poder darle el servicio sin provocar pérdidas en la producción.

Con este trabajo se pretende dar una herramienta de apoyo a los estudiantes y productores que comienzan a desarrollarse dentro de la agricultura automatizada, con el objetivo de poder facilitar las actividades de producción, supervisión y mantenimiento dentro de un invernadero automatizado.

III. OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Generar un protocolo para el mantenimiento de un sistema automatizado en invernaderos, a fin de controlar de manera eficiente los factores que inciden en el desarrollo de un cultivo.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- Caracterizar los instrumentos básicos para la automatización de un invernadero.
- Ensamblar un controlador logístico programable.
- Identificar las posibles fallas de un sistema automatizado y de los instrumentos que controlan el invernadero.
- Describir los puntos básicos del mantenimiento de un sistema de automatización.

IV. MARCO TEÓRICO.

El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones de calidad y mayor rendimiento en cualquier momento del año, a la vez que permiten alargar el ciclo del cultivo, permitiendo producir en las épocas más difíciles del año, obteniendo mejores precios. Este incremento en el valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir, tecnológicamente en su explotación, facilitando con esto la producción (Benavente, 2000).

Gracias a la automatización se tienen mayor precisión en el manejo del cultivo ya que se puede controlar de manera más eficiente la temperatura y humedad que requiera un cultivo específico (Bastida, 1999).

Es importante precisar algunos conceptos básicos sobre los sistemas automatizados de control, así como señalar en forma particular las variables de control y su manejo.

4.1 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

Un sistema es una combinación de elementos que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo. Controlar una o varias variables, manteniendo su valor dentro de unos límites deseados o preestablecidos. Por lo tanto, un sistema de control es aquél cuyo objetivo es mantener una o varias variables dentro de unos límites prefijados, con un comportamiento conocido (Rodríguez, 2004).

Cuando la sustitución del operador humano tenga como objetivo el control de un sistema, de forma que este funcione de una manera autónoma hablaremos de que es un sistema de control automatizado. Los dispositivos diseñados con este fin se denominarán de regulación y de mando (Piedrafita, 2004).

Un sistema de automatización consiste sencillamente en acoplar los tres bloques básicos de automatización:

- Fase sensorial en la cual, los sentidos del hombre son sustituidos por sensores integrados al equipo.
- Fase lógica en la cual, el equipo lleva a cabo el procesamiento de la información transmitida por los sensores en el autómata (PLC).

- Fase operativa en la cual, los movimientos físicos del hombre son sustituidos o aplicados por la máquina al recibir los actuadores la señal procesada del autómeta (Salvendy, 2004).

Todo sistema de control tiene una entrada denominada consigna o valor de referencia deseado, utilizada para enviar órdenes a fin de que el valor real de la variable a controlar sea tan igual como sea posible.

Las acciones básicas que deben realizar todos los sistemas de automatización son: medir la variable a controlar, compararla con un valor de referencia deseado y actuar para llevar la variable al valor deseado. En el sistema de control hay que considerar las siguientes variables:

- Variable a controlar, es la que se desea mantener en un valor deseado, por ejemplo, la temperatura interior del invernadero.
- Consigna o valor de referencia, es el valor deseado para la variable a controlar. Técnicamente conocido como Set Point (SP).
- Variable manipulada o de control, es la variable que se emplea para compensar o corregir el efecto de las perturbaciones, por ejemplo, la apertura o encendido de la ventilación del invernadero para controlar la temperatura.
- Variable de perturbación, es aquella que afecta a la variable a controlar, pero que no puede ser manipulada, por ejemplo, el viento del exterior del invernadero o la radiación solar (Rodríguez, 2004).

El sistema de control está clasificado en dos tipos, uno que es de lazo abierto y el otro de lazo cerrado.

4.1.1 SISTEMA DE LAZO ABIERTO.

Sistema de control de lazo abierto: Es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, pero basada en la primera. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Es decir, la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el controlador. Un ejemplo es el riego controlado por un temporizador. Mientras que el temporizador este mandando la señal a la bomba, el agua fluirá. La cantidad de agua en el sustrato no puede hacer que la bomba se pare y por lo tanto no sirve para un proceso que necesita de un control del contenido o concentración del agua. En definitiva, el controlador o temporizador que se opera solo controla el tiempo que la bomba estará trabajando sin una señal que lo retroalimiente, la precisión depende de la calibración que se le dé al sistema (Rodríguez, 2004).

Estos sistemas se caracterizan por ser sencillos y de fácil concepto, nada asegura su estabilidad ante una perturbación (Figura 1).

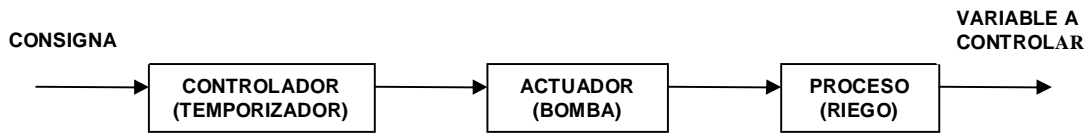


Figura 1. Sistema de control de lazo abierto.

4.1.2 SISTEMA DE LAZO CERRADO.

En el sistema de control de lazo cerrado, el controlador comprueba la señal de salida y decide si el nivel de la señal real de salida corresponde al de la señal deseada, o si el nivel real de la señal ha de ser modificado para conseguir el objetivo. Este sistema también es conocido como sistema retroalimentado. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control. El sistema tiende a mantener una relación preestablecida entre la salida y una entrada de referencia comparándola, utilizando la diferencia (señal de error) como medida de control. En la presencia de perturbaciones o ruido en el sistema, este tiene la capacidad de reducir la diferencia entre el valor deseado y el valor real de la salida (Rodríguez, 2004).

Un ejemplo de un sistema de control de lazo cerrado sería el control de la temperatura dentro del invernadero. En el cultivo del jitomate se requiere de una temperatura de entre 15-30° C fuera de este rango la planta entraría en estrés tanto por calor como por frío. El control de temperatura es programado para mantener la temperatura en este rango, el sensor se encarga de monitorear la temperatura para evaluar las perturbaciones o variables que se presenten y de esta forma comparar la señal de entrada con la señal de salida y poder mandar a los actuadores la señal adecuada (Figura 2). Son complejos, pero amplios en la cantidad de parámetros que pueden manejar y su prioridad es la retroalimentación.

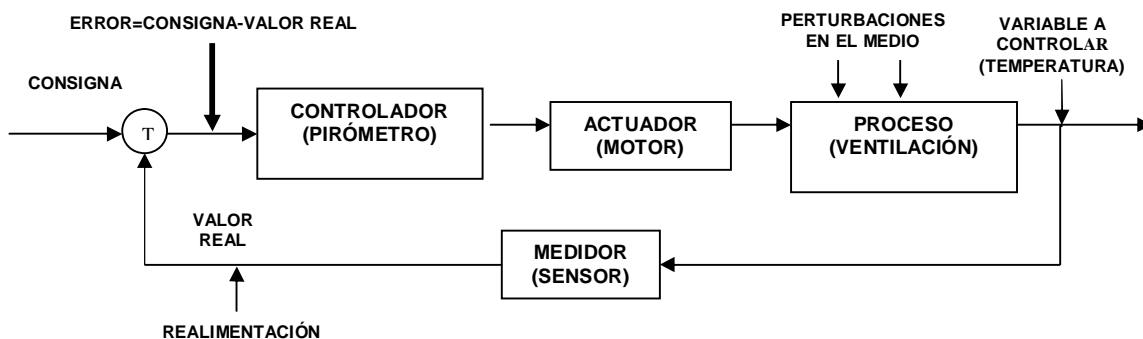


Figura 2. Sistema de control de lazo cerrado.

Los sistemas de control y automatización forman parte importante de una cadena del proceso de producción, controlando y generando información para el análisis y la validación de los procesos productivos; de ahí la importancia de una correcta integración de estos sistemas a las diferentes actividades dentro de la agroindustria. Sin embargo, estos productos no pueden operar por sí mismos, siempre requieren de labores de configuración, implementación y mantenimiento que se adecuen a las necesidades de los productores; dichas labores son desarrolladas generalmente por los proveedores de sistemas de control y automatización; pero es muy importante que las empresas agroindustriales y alimenticias cuenten con proveedores, que además de tener una adecuada preparación técnica, hablen el mismo lenguaje del cliente; ya que sólo así se podrán agilizar los procesos de producción, quedando fuera los retrasos causados, principalmente, porque el prestador del servicio no está debidamente preparado en el área del control.

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación y transformarlas en variables eléctricas. Los sensores son también conocidos como transductores de señal.

Un transductor de señal es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía en mecánica capaz de poder ser leída visualmente de manera digital o análoga. Este tipo de dispositivo es usado principalmente en la industria, la medicina, la robótica, la aeronáutica y desde luego en la agricultura para obtener la información del entorno y conseguir a partir de esta información señales o impulsos eléctricos.

Los transductores forman parte de una cadena de medición que transforma una magnitud física en una eléctrica. Los transductores son importantes para que los indicadores o controladores puedan detectar magnitudes físicas. Normalmente, estas magnitudes (temperatura, presión, humedad del suelo, humedad del aire, caudal o luz) se convierten en una señal normalizada de 4-20 mA.

4.1.3 AMPLIFICADORES DE SEÑAL.

Una amplificador es un circuito eléctrico o electrónico capaz de aumentar la tensión de la corriente o potencia de la señal mandada por el controlador.

Los controladores y los PLC funcionan por medio de señales de entrada y de salida, estas señales son de voltaje, al controlador llega un voltaje del sensor el cual lo transforma en una lectura visible en el display.

El controlador es programado para mandar una señal cuando la lectura del sensor salga de los parámetros programados, esta señal que manda el controlador es una señal de voltaje con un amperaje bajo, por lo que esta señal tiene que pasar por un relevador, este es un dispositivo mecánico para aumentar la potencia de la señal. La bobina del relevador es excitado por la señal que manda el controlador, al momento de cerrar los platinos manda una nueva señal, esta es más fuerte que la señal inicial del controlador, dependiendo del actuador que tenga que recibir la señal tendríamos que considerar si esta tiene la suficiente carga como para activarlo o tendríamos que pasar la señal por un relevador, contactor o arrancador que son dispositivos para amplificar la señal a un amperaje mucho más grande (Figura 3)

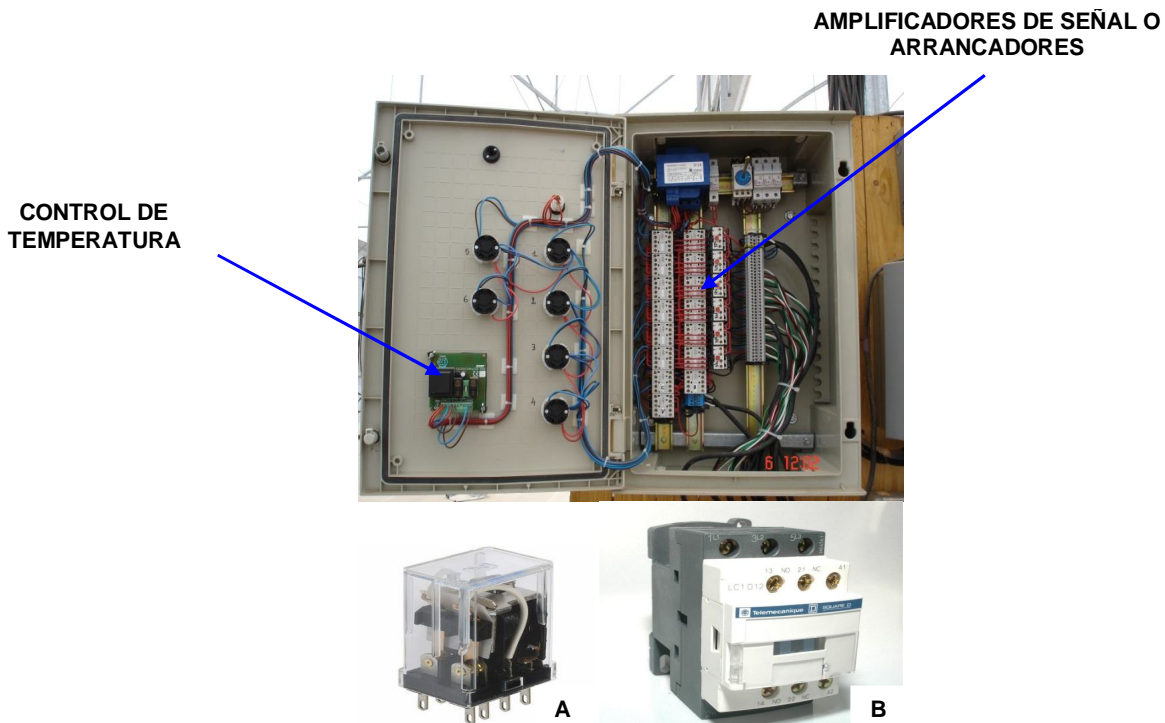


Figura 3. Amplificadores de señal A) Relevador B) Contactor

4.1.3.1 RELEVADORES.

El relevador es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Los relevadores cuentan con interruptores o contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados, los cuales son capaces de controlar circuitos de salida de mayor potencia que el de entrada, se consideran amplificadores eléctricos de señal (Verde, 2010).

Los contactos normalmente abiertos (NA) conectan el circuito cuando el relevador es activado; el circuito se desconecta cuando el relevador se desactiva. Este tipo de contactos se utilizan como señales de mando cuando el controlador manda la señal.

Los contactos normalmente cerrados (NC) desconectan el circuito cuando el relevador es activado; el circuito se conecta cuando el relevador se desactiva.

Los contactos de conmutación o también llamando comunes son los que llevan la carga de la señal que se desea transmitir a los contactos NA y NC.

Este tipo de amplificadores de señal se usan regularmente a la salida de los controladores como un primer módulo de amplificador de señal, ya que reciben una señal de 3 a 5 amperes y la amplifican hasta 10 amperes, con esta nueva señal se pueden activar actuadores de bajo consumo o activar amplificadores de señal de muy alta capacidad (Figura 4).

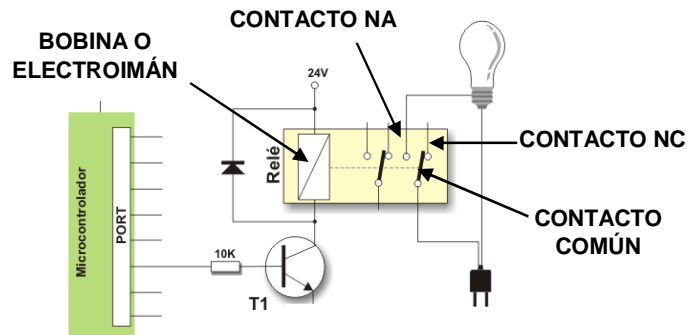


Figura 4. Relevador controlado con un microcontrolador (Verde, 2010).

4.1.3.2 CONTACTORES.

El contactor es un componente electromecánico que tiene como objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando. Un contactor tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, donde sus contactos permanecen normalmente abiertos (NA), cuando no recibe señal alguna por parte del circuito de mando o controlador, y otra que es inestable, cuando recibe la señal del controlador generando el cierre de los contactos (NA), permitiendo el paso de la corriente, activando el actuador que se esté controlando.

Los contactores a diferencia de los relevadores, solo cuentan con contactos normalmente abiertos (NA), los cuales son capaces de soportar cargas de trabajo lo suficientemente altas haciendo funcionar cualquier actuador por grande que parezca (Figura 5).

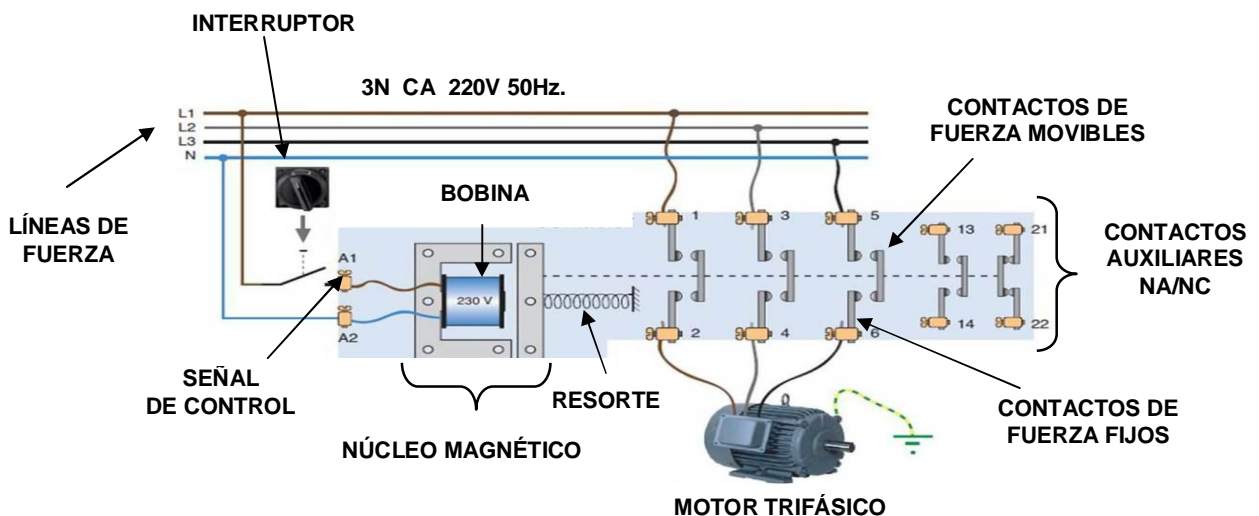


Figura 5. Contactor controlando el arranque de un motor. (www.automatismoindustrial.com)

4.1.3.3 ARRANCADORES.

Un arrancador es un dispositivo electromecánico cuya función principal es la de regular la puesta en marcha del arranque de un motor, partiendo de cero hasta el punto máximo de velocidad del motor.

Los arrancadores nos sirven para amplificar la señal de mando a los actuadores y la protección de los motores eléctricos, prolongando su vida útil.

Dependiendo de la capacidad del motor será el tipo de arrancador que se tendría que utilizar, para motores menores de 5hp se recomienda el uso de arrancadores a tensión plena, mientras que para los motores más grande se requiere de arrancadores a tensión reducida.

Los arrancadores a tensión plena están constituidos por un contactor y un relevador bimetálico o protección térmica, el cual se encargara de desconectar el contactor en caso de que el amperaje del motor se eleve por sobrecarga evitando que se dañe.

Los arrancadores a tensión reducida son arrancadores más eficientes y completos, son recomendados para motores trifásicos de jaula de ardilla, empleando un autotransformador trifásico, o tres autotransformadores monofásicos.

Un arrancador se puede utilizar en cualquier lugar que se requiera de la protección de un motor eléctrico contra las variaciones de la corriente que puedan presentarse por fallas eléctricas, o por fallas en el suministro eléctrico. Los lugares de aplicación más comunes dentro de un invernadero son los sistemas de riego, el control de la ventilación y la calefacción (Figura 6).



Figura 6. Arrancadores para motores de corriente alterna.

4.2 FACTORES QUE PUEDEN CONTROLARSE DENTRO DE UN INVERNADERO.

El desarrollo de los cultivos, en sus diferentes fases de crecimiento, están condicionados por cuatro factores ambientales o climáticos: temperatura, humedad relativa, luz y CO₂. Para que las plantas puedan realizar sus funciones es necesaria la conjunción de estos factores dentro de unos límites mínimos y máximos, fuera de los cuales las plantas cesan su metabolismo, pudiendo llegar a la muerte (2000Agro, 2006).

Los invernaderos requieren de un sistema de control integral para regular los factores que inciden en el desarrollo del cultivo. Asimismo, precisan de una mayor especialización en el manejo de las plantaciones, debido a que las plagas y enfermedades encuentran mejores condiciones para su desarrollo, debido a la humedad y la temperatura. Esto se soluciona con un control adecuado de los factores que inciden en su desarrollo.

Dentro los parámetros que se pueden controlar en un invernadero están:

- Temperatura (calefacción y ventilación).
- Riego.
- Humedad Relativa.
- Iluminación.
- Concentraciones de CO₂.

4.2.1 VENTAJAS DE LA AUTOMATIZACIÓN.

El principal objetivo de un invernadero automatizado es la rentabilidad. De esta forma, los resultados que se de buscar al automatizar un invernadero deben de estar orientados a este fin.

Las mayores ventajas que presentan el uso de autómatas programables son:

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos, debido a que no es necesario dibujar el esquema de contactos ni simplificar las ecuaciones lógicas.
- Facilidad en su manejo.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.

- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento, además de aumentar la fiabilidad del sistema, pues al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden detectar e indicar averías.
- Al existir una falla el equipo nos indica por medio del autómata donde se encuentra esta falla.
- Posibilidad de controlar varias funciones con el mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en marcha del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
- Si por alguna razón el invernadero queda fuera de funcionamiento, el autómata sigue siendo útil para instalarlo en otro que esté funcionando (Rodríguez, 2004).

4.2.2 DESVENTAJAS.

Una de las desventajas mas importantes del uso de este tipo de tecnología es la inversión elevada tanto en su parte inicial, como durante el proceso de producción, debido a que se requiere de personal calificado en el área para la programación y manejar de los equipos (Rodríguez, 2004).

4.3 NIVELES DE AUTOMATIZACIÓN EN LOS INVERNADEROS.

Existen diferentes factores que intervienen para poder identificar el tipo de automatización de cada invernadero. Los invernaderos se clasifican de acuerdo a su capacidad para controlar los factores que inciden en el desarrollo del cultivo.

El control de estos factores está basado en un manejo de forma adecuada de todos aquellos sistemas instalados en el invernadero para mantener los niveles adecuados de temperatura, humedad, luz, niveles de CO₂ y el suministro de fertilización, y así conseguir la mejor respuesta del cultivo para mejorar en el rendimiento.

4.3.1 NIVEL BAJO.

Los invernaderos de nivel tecnológico bajo se caracterizan porque en sus instalaciones la mayoría de actividades, que implican el manejo de las estructuras y los cultivos, se realizan en forma manual. En general, son instalaciones que sólo cuentan con herramientas manuales y, en ocasiones, con algunos dispositivos mecánicos como bombas de combustión interna o eléctrica para el riego, el cual por lo general es con manguera de forma manual. Carecen de calentadores o equipos para el control de la temperatura, y la apertura y cierre de ventilas se realiza manualmente, muchas veces sin la ayuda de malacates.

4.3.2 NIVEL MEDIO.

Dentro de los invernaderos de nivel tecnológico medio se agrupan todas aquellas unidades equipadas con dispositivos mecánicos y eléctricos, como bombas para los sistemas de riego, calentadores de gas de encendido manual o automático, la apertura y cierre de ventilas se realiza con malacates manuales y, a veces, con motores. Pueden contar con sistemas de fertirrigación rústicos. Varios de estos dispositivos necesariamente requieren de operadores humanos para ponerlos en funcionamiento y apagarlos.

4.3.3 NIVEL ALTO.

En los invernaderos automatizados de nivel tecnológico alto se incluyen instalaciones con dispositivos automatizados con sensores y actuadores para controlar el riego. Un ejemplo son los temporizadores, que pueden programarse para encender y apagar bombas, así como fotoceldas para apagar y encender luces, o sensores para operar calentadores y otros dispositivos similares. También pueden contar con algunas actividades computarizadas.

Cuentan con sistemas de fertirrigación o sistemas de riego automático y equipos para controlar las temperaturas. Controlan el pH de la solución, la conductividad eléctrica y el aporte nutrimental, realizan polinización artificial y monitoreo ambiental, y en ocasiones aplican CO₂.

Los sistemas automáticos permiten cierta independencia en el manejo de los cultivos ya que se tiene el control de aspectos vitales, sin la dependencia de los operadores, que están en función de las variaciones ambientales y su efecto sobre las condiciones internas.

4.3.4 ALTAMENTE TECNIFICADOS O INTELIGENTES.

Los invernaderos computarizados de nivel tecnológico muy alto son aquellos con ambientes controlados, en función de datos internos y externos. La mayoría de los procesos están controlados por computadoras, las cuales se encargan de operar los equipos de riego, mantener estable la temperatura y realizar o inyectar las soluciones nutritivas, así como abrir y cerrar ventanas automáticamente. Cuentan con una serie de sensores que detectan las variaciones ambientales y envían señales a las computadoras para operar los dispositivos que se encargan de compensar o corregir las variaciones.

En este tipo de instalaciones existe un control automatizado completo del ambiente y la nutrición del cultivo, con sistemas de fertirrigación, uso de pantallas térmicas y mallas de sombreado. Son instalaciones herméticas, usan los insumos y equipos de aplicación más modernos, como aplicación de CO₂, uso de acolchados blancos dentro del invernadero para el manejo de la luz, hormonas y abejorros para la polinización.

En ocasiones cuentan con programas “inteligentes”, que se retroalimentan con la información generada por ellos mismos. Un elemento central es contar con ventilas cenitales dinámicas que se abren y cierran en función de parámetros como niveles de radiación, temperatura y velocidad de los vientos.

Los empresarios que cuentan con este tipo de tecnología, consideran que para definir el 100 por ciento de tecnificación bajo invernadero se deben tomar los siguientes elementos: 1) riego de precisión con recirculación de solución nutritiva, 2) control climático computarizado, con ventilación y calefacción, 3) aplicaciones de CO₂, 4) mallas sombra o pantallas térmicas para el control de la iluminación, 5) sensores de monitoreo, y 6) cultivo en sustratos con hidroponía (2000agro, 2006).

4.4 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO.

Como se definió anteriormente, un sistema es un conjunto de elementos que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo, controlar una o más variables.

Dentro del un invernadero existen diferentes variables que se pueden controlar, esto es diferentes sistemas que trabajan en conjunto para poder cumplir el objetivo principal que es crear una atmósfera adecuada para el buen desarrollo de un cultivo, estos sistemas pueden actuar de manera individual o en conjunto organizados por un autómata o PLC (*Controlador Lógico Programable*).

Un sistema de control de un cultivo bajo invernadero automatizado proporciona un microclima adecuado para la producción de hortalizas, flores o frutas.

Para poder crear un microclima dentro de un invernadero debemos de implementar el control de los diferentes sistemas para controlar la temperatura, el riego, la humedad, la luz y las concentraciones de CO₂ (Figura 7).

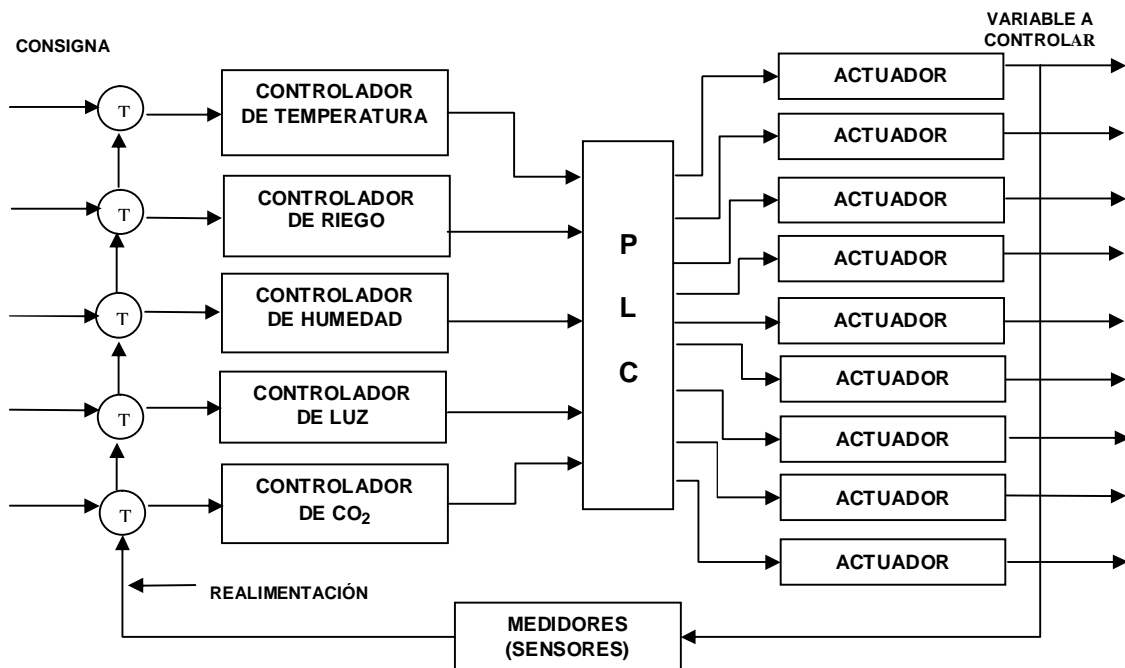


Figura 7. Sistema de automatización de un invernadero.

4.4.1 PARTES DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA.

El sistema para el control de la temperatura está básicamente formado por los sensores de temperatura, el control de temperatura, los amplificadores de señal y los actuadores. Cada uno tiene un papel muy importante en el funcionamiento de este sistema, si por alguna razón una de estas partes no funciona de manera adecuada, perturbará al sistema provocando un error en el proceso (Figura 8).

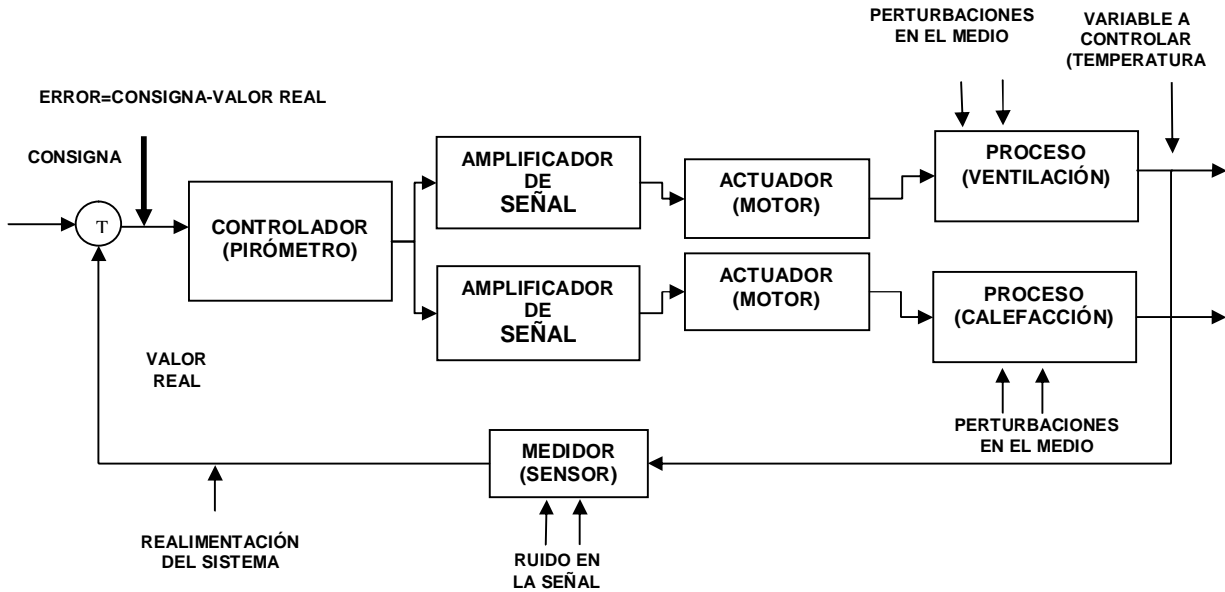


Figura 8. Sistema para el control de la calefacción y la ventilación.

4.4.1.1 SENSORES DE TEMPERATURA.

Para efectuar el control de la temperatura es necesario que los controladores reciban una señal del exterior para poder compararla con la programada en el equipo y de esta manera poder dar la señal adecuada a los actuadores.

Un sensor de temperatura es un dispositivo térmico capaz de interpretar señales de cambio de temperaturas y transformar esta información en señales eléctricas, enviándolas al indicador o controlador para poder ser interpretadas.

Para medir la temperatura existen diversos tipos de sensores dependiendo del proceso y del fabricante; los más utilizados son: termopares, detectores resistivos de temperatura, termistores, circuitos integrados y fotorresistencias (Rivera, 2007).

4.4.1.1.1 SENSORES TERMOELÉCTRICOS O TERMOPARES.

Los termopares eléctricos están constituidos simplemente de dos cables de diferentes materiales, en un extremo se empalman las puntas para soldarlas preferentemente con plata, para que no haya falso contacto, el punto de empalme es la punta que detecta la temperatura, y estos entregan una señal en milivolts, proporcional a la temperatura, el termopar más usado por sencillo, eficiente y barato es el de tipo “J” y está constituido por dos cables uno de hierro y otro de un material llamado constantan (Figura 9).

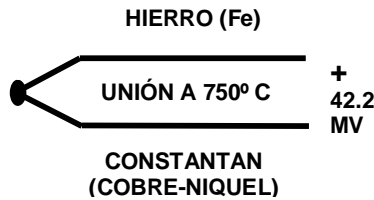


Figura 9. Termopar tipo J.

Este tipo de sensores de temperatura son utilizados en la agroindustria por su bajo costo y su fácil instalación, son comúnmente utilizados en invernaderos, germinadoras, incubadoras y empacadoras.

4.4.1.1.2 SENSORES RESISTIVOS DE TEMPERATURA.

Los detectores resistivos de temperatura están basados en la variación de una resistencia eléctrica. Se suelen designar con sus siglas inglesas RTD (Resistance Temperature Detector). Dado que el material empleado con mayor frecuencia para esta finalidad es el platino, se habla a veces de PRT (Platinum Resistance Thermometer) (Figura 10).

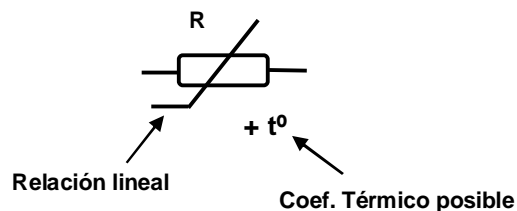


Figura 10. Símbolo del RTD.

Un termómetro de resistencia es un instrumento utilizado para medir las temperaturas aprovechando la dependencia de la resistencia eléctrica de metales, aleaciones y semiconductores (termistores) con la temperatura; tal es así que se puede utilizar esta propiedad para establecer el carácter del material como conductor, aislante o semiconductor.

El elemento consiste en un embobinado de hilo muy fino del conductor adecuado, el embobinado se hace entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica. El material que forma el conductor, se caracteriza por el "coeficiente de temperatura de resistencia" este se expresa en un cambio de resistencia en ohmios del conductor por grado de temperatura a una temperatura específica. Para casi todos los materiales, el coeficiente de temperatura es positivo, pero para otros muchos el coeficiente es esencialmente constante en grandes posiciones de su gama útil.

Diversos metales pueden utilizarse en la construcción de las RTD como el platino, el níquel o el cobre. El platino es el metal más utilizado pues aunque el níquel presenta mayor sensibilidad el platino es más lineal y sobre todo tiene una resistividad mayor. Esto último permite tener una sonda con un valor óhmico suficientemente alto para permitir el empleo de hilos de conexión largos y, a la vez, con poca masa, para tener una respuesta térmica rápida.

Un tipo de RTD son las **Pt100** o **Pt1000**. Estos sensores deben su nombre al hecho de estar fabricados de platino (Pt) y presentar una resistencia de 100 Ω o 1000 Ω respectivamente a 0° C. Son dispositivos muy lineales y precisos en un gran rango de temperatura (Figura 11).



Figura 11. Vista interna de una Termorresistencia.
(www.uhu.es/prochem/wiki)

Este tipo de sensores son utilizados principalmente en laboratorios de uso alimenticio, cámaras de refrigeración y en lugares que se requiere de una alta precisión de la temperatura como lo son las incubadoras.

Existen una gran cantidad de sensores resistivos de temperatura todos dependen de su fabricación, por esto reiteramos que es importante saber bien cuál es la necesidad que tenemos para seleccionar el que más pueda cubrir nuestras necesidades (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de los sensores resistivos de temperatura más comunes.

Tc	CABLE + ALEACIÓN	CABLE – ALEACIÓN	°C	USO
J	Hierro	Constantan (Cobre-Níquel)	-180 a 750	Su principal uso es en la industria del plástico, el hule y fundición de materiales de baja temperatura.
K	Níquel-Cromo	Níquel-Aluminio	-180 a 1372	Son básicamente usados en hornos de fundición a temperaturas menores de 1300° C.
R	87% Platino 13% Rodio	100% Platino	0 a 1767	Son casi exclusivos de la industria siderúrgica para la fundición del acero.
PT100	Platino	Platino	-100 a 200	Usados en lugares que requieren de alta precisión como laboratorios de uso alimenticio, refrigeración e incubadoras.

4.4.1.1.3 SENSORES DE TIPO TERMISTOR.

Los termistores son sensores resistivos de temperatura. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura, debido a la variación de la concentración de portadores. En cuanto a sus características generales existen de dos tipos:

- Coeficiente de temperatura negativo (NCT).
- Coeficiente de temperatura positivo (PCT).

Para los termistores NTC, al aumentar la temperatura, aumentará también la concentración de portadores, por lo que la resistencia será menor, de ahí que el coeficiente sea negativo. Para los termistores PTC, en el caso de un semiconductor con un dopado muy intenso, éste adquirirá propiedades metálicas, tomando un coeficiente positivo en un margen de temperatura limitado. Usualmente, los termistores se fabrican a partir de óxidos semiconductores, tales como el óxido férrico, el óxido de níquel, o el óxido de cobalto (Rivera, 2007) (Figura 12).

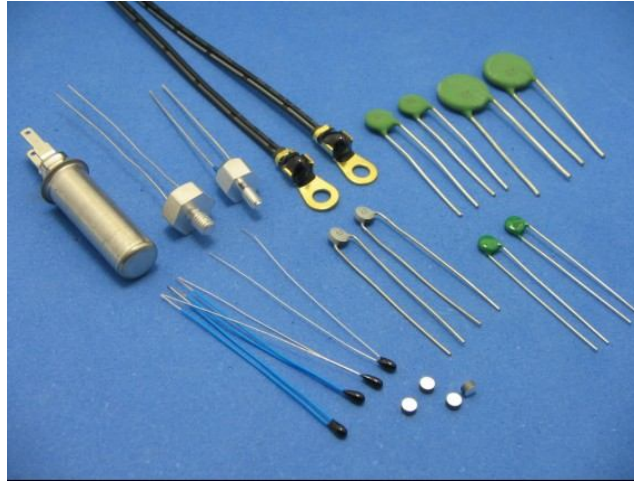


Figura 12. Sensores resistivos de temperatura.
(www.elemon.com.ar)

4.4.1.1.4 SENSORES DE CIRCUITOS INTEGRADOS.

En la actualidad existen diferentes circuitos integrados para la medición de la temperatura, desde los que generan un voltaje hasta los que producen una señal digital.

Un circuito integrado mide la temperatura, partiendo del concepto básico de la unión P-N en semiconductores (Rivera, 2007).

Los sensores de temperatura integrados tienen como ventaja principal que operan naturalmente de forma lineal con una salida en corriente o tensión proporcional a la temperatura absoluta.

El sensor integrado utiliza una propiedad fundamental de los transistores que se presenta cuando dos transistores idénticos se unen en el colector; la diferencia en sus tensiones emisor-base es lineal.

Como tienen la misma constante de Boltzmann y carga, la tensión resultante es directamente proporcional a la temperatura absoluta. Así, esta tensión se convierte a corriente mediante una resistencia de bajo coeficiente de temperatura.

Los circuitos integrados se pueden clasificar en dos tipos, los de salida analógica y los de salida digital. En los de salida analógica tenemos el LM335 (°C) y el LM334 (°K) y en los digitales el DS1820.

El LM335 es un sensor de temperatura de fácil calibración, que opera como un zener de 2 terminales, este tiene un voltaje de ruptura directamente proporcional a la temperatura absoluta a +10 mV/°K. (Figura 13).

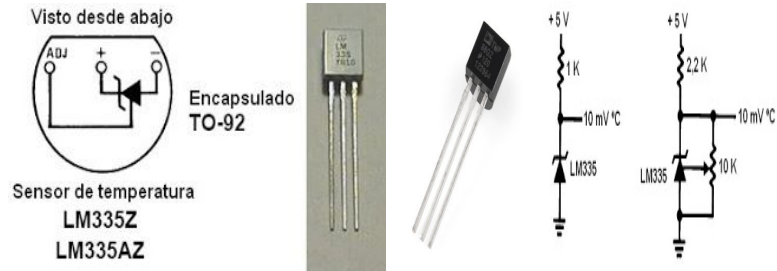


Figura 13. Diagrama de conexión del sensor de temperatura LM335.
(www.electronicoscaldas.com)

El DS1820 es un sensor que está considerado como un termómetro digital que proporciona una lectura de temperatura con buena resolución, con una alarma en la que se pueden programar los límites bajo y alto de disparo. Tiene un rango de trabajo de -55 a 125°C y una exactitud de $\pm 0.5\%$. La señal del sensor DS18B20 se puede introducir en una de las entradas con convertidor analógico-digital de un microcontrolador (Figura 14).

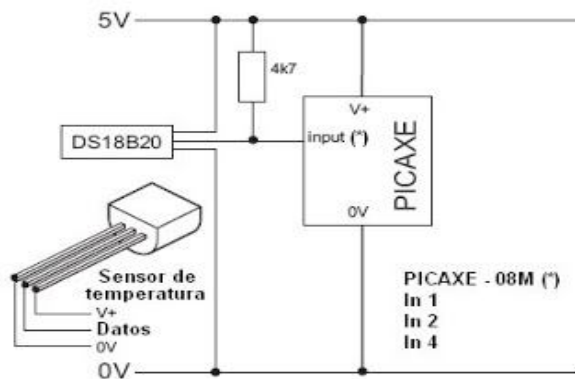


Figura 14. Diagrama de conexión del sensor de temperatura DS18B20.
(www.bristolwatch.com)

Este tipo de sensores de circuitos integrados son muy utilizados hoy en día en la agricultura, principalmente para el control de la temperatura ambiental dentro de los invernaderos, gracias a su fácil operación en los equipos modernos ya que no se requieren de ninguna sonda de extensión para poder hacer su función de sensado.

Siempre que se hable de controlar la temperatura se tiene que hablar del o los sensores que se requieren para poder monitorear la temperatura de cualquier proceso que vayamos a controlar y que cada sensor reacciona de acuerdo al material y principio con el que fue fabricado, para poder seleccionar el sensor adecuado de acuerdo a nuestras necesidades o procesos (Figura 15).

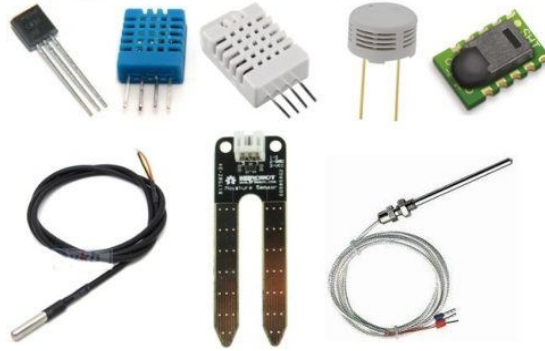


Figura 15. Diferentes tipos de sensores de temperatura.
(www.microside.mx)

4.4.1.2 CONTROLES DE TEMPERATURA.

El control de temperatura es el elemento más importante de los sistemas de control automático. Si bien los controladores pueden ser dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o incluso químicos; son los controladores electrónicos digitales los que están cada vez más comercializados por la flexibilidad que tienen para combinar la estrategia de control (Miranda, 2008).

Los controladores de temperatura son instrumentos electrónicos para la regulación, mando y automatización de procesos secuenciales o combinados los cuales tienen la temperatura como variable de control.

Estos controles están configurados para un sistema de control de lazo cerrado y están diseñados en la mayoría de los casos para trabajar independientes de una computadora, por lo que los hacen altamente versátiles, precisos, independientes y con una amplia aplicación a la automatización.

Los controles electrónicos digitales más sencillos son los que están con base en una lógica de combinación y secuencial, y son llamados circuitos digitales. Estos circuitos constituyen la base para las computadoras electrónicas más complejas, que son la principal opción para la implementación física de los sistemas de control automático.

4.4.1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONTROL DE TEMPERATURA.

En este caso se pone como ejemplo un control de temperatura (pirómetro) digital de la marca Autonics mod. TZN4S-24R (Figura 16).

Este control de temperatura tiene como particularidad que es un equipo de alta precisión, compacto, cuenta con un sistema de control proporcional inteligente (PI) y es de fácil instalación, en términos generales cuenta con:

- Doble PID (Controlador Proporcional Integral). Este es el encargado de mandar la señal de salida a los actuadores y poder controlar la temperatura, hay dos tipos PID lento y PID rápido, esto sirve para poder llegar más rápido a la temperatura deseada dependiendo del proceso que se esté trabajando, dentro del proceso para controlar la temperatura del invernadero se usa el PID rápido.
- Salida de señal de control a relevador. Es la señal principal que manda el controlador para ajustar la temperatura, cuando esta ha salido de los parámetros programados, esta salida tiene un máximo de 3Amp. 230VAC.
- Dos salidas auxiliares de alarma (transmisión de 4-20mACC). Estas son salidas adicionales al sistema, son salidas que se activan cuando la temperatura ha rebasado los límites máximos mayores o menores al valor programado.
- Doble display: PV y SV. El display “PV” indica el valor actual de la temperatura que el sensor está detectando y lo expresa en °C o °F, dicho de otra manera es la temperatura que en ese momento está procesando el sensor. El display “SV” es el valor de la temperatura deseada a la que se quiere que trabaje el equipo, “SV” (Set Point Variable) es la variable de ajuste que se desea que el equipo controle mediante la activación de las señales de salida.
- Lectura del display: °C o °F. Este equipo tiene la característica de poder programar la lectura del sensor ya sea en °C o °F según se requiera.
- Entrada de sensor de temperatura universal. Esta entrada tiene la cualidad de poder recibir prácticamente cualquier tipo de sensor, solo es necesario programar el equipo para que detecte el sensor que le sea conectado.

Termopar. J, K, R, T, E, S, N, W.
 RTD. PT100 DE 2 Y 3 CABLES.
 Analógica. 0-10VCC, 1-5VCC, 4-20mACC.

En la parte frontal del quipo se tiene:

PV. Es la temperatura de proceso o señal de temperatura que el sensor reporta al control.

SV. Es la temperatura de trabajo a la que se programa el equipo para trabajar o Set Point.

SV2. Led indicador de que la función SV2 esta activada.

AT. Led indicador de que la función (AT= autotunning) está activado.

OUT. Led de indicación que la señal principal de control esta activada.


- EV1. Led indicador de que la alarma 1 esta activada.
- EV2. Led indicador de que la alarma 2 esta activada.
- MD. Botón del MODO para entrar al programa.
- AT. Botón para el cambio del funcionamiento de los diferentes pasos del programa.
-  Cursores para el cambio de los valores del programa.



Figura 16. Control de temperatura.
(www.autonics.com)

4.4.1.2.2 CONEXIONES DEL CONTROL DE TEMPERATURA.

La conexión del control es muy sencilla ya que cuenta con un diagrama que explica de manera muy clara como se tiene que conectar cada una de las terminales o bornes de conexión, tanto para la alimentación de corriente, el sensor y dependiendo de las señales que manejen las salidas para los actuadores que controlaran la calefacción o la ventilación (Figura 17 y Cuadro 2).

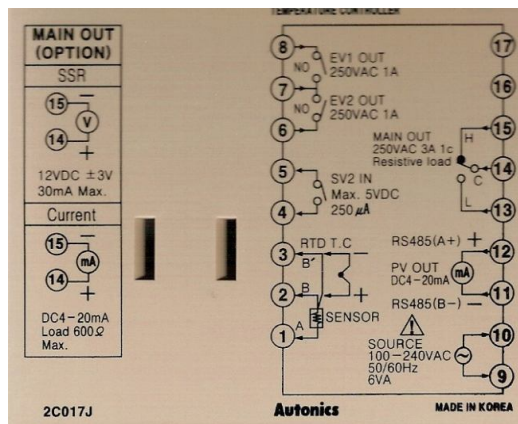


Figura 17. Diagrama de conexión del control de temperatura.

Cuadro 2. Conexiones del control de temperatura.

NO. DE TERMINAL	FUNCIÓN
1, 2, y 3	Estas terminales son las entradas para la conexión del sensor, dependiendo de tipo de sensor serán las que se utilizarán siendo las más comunes la 2 y 3.
4 y 5	Es una señal de salida para el control histéresis del Set Point, donde 4 es el contacto NA y 5 el contacto común.
6, 7 y 8	Son las salidas de las alarmas para controlar el nivel que a salido le los límites máximos donde 7 es el contacto común y 8 es contacto NA para la alarma 1 y 6 el contacto NA para la alarma 2.
9 y 10	Es la entrada de alimentación del control que es de 100-240VAC.
11 y 12	Es una salida de señal analógica para el control proporcional de la señal de proceso.
13, 14 y 15	Salida primaria de control para mantener el Set Point en los parámetros dentro de la histéresis.

4.4.1.3 ACTUADORES DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA.

Los actuadores son los dispositivos encargados de recibir la señal del controlador para la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre el proceso que se desea controlar, es el elemento final de control como lo puede ser un motor, una válvula o un pistón.

Para el control de la temperatura en el invernadero, el actuador es el dispositivo que entrará en función para prender o apagar la calefacción o la ventilación dependiendo de la señal que mande el controlador.

4.4.1.3.1 SISTEMA DE CALEFACCIÓN.

Sin duda uno de los sistemas más importantes para el buen funcionamiento del invernadero es la calefacción, especialmente para poder mantener a lo largo del año, incluso en los meses más fríos la temperatura adecuada para poder tener una buena producción.

Dependiendo de la manera en que se aplique el calor dentro del invernadero se pueden clasificar los sistemas como calefacción por convección, por conducción y por radiación.

4.4.1.3.1.1 SISTEMA DE CALEFACCIÓN POR CONVECCIÓN.

Son sistemas en los que el elemento conductor del calor es el aire. Debido a su poca inercia, proporcionan un aumento rápido de la temperatura del aire, enfriándose de igual forma al dejar de actuar. Generan importantes gradientes térmicos y pérdidas de calor al ir localizados, normalmente, sobre el cultivo.

Entre los sistemas más comunes para generar calor están los generadores de aire caliente de combustión indirecta y generadores de aire caliente de combustión directa.

Los generadores de aire caliente de combustión indirecta, son aquellos que funcionan mediante un intercambiador de calor, separan los gases de combustión expulsándolos al exterior, introduciendo únicamente aire caliente al invernadero. Dado que parte del calor es expulsado con los gases de combustión, el rendimiento de este sistema está entre el 80% - 90%. (Figura 18) (Cuadro 3).

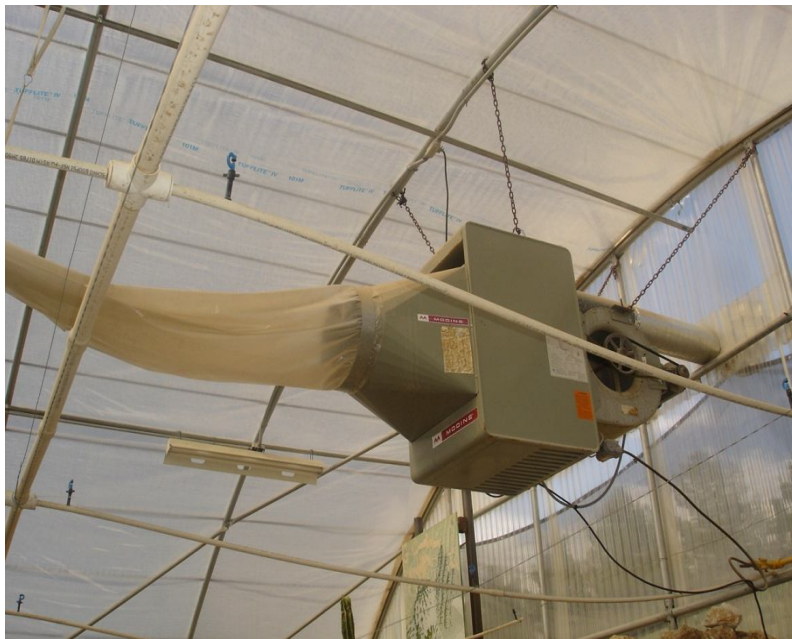


Figura 18. Generador de aire caliente de combustión indirecta.

Cuadro 3. Partes del calefactor de combustión indirecta.

1	Turbina en una carcasa de caracol.
2	Motor de 3/4 hp. 127 V.
3	Válvula pilotática.
4	Válvula solenoide.
5	Control de falla de flama (centralita).
6	Quemador de gas.
7	Unidad de dispersión del calor (calderín).
8	Transformador de ignición.
9	Bujía o electrodo.
10	Termostato.
11	Cañón de salida del calor.
12	Chimenea.
13	Niple de conexión para el gas.
14	Caja de aislamiento térmico.

Este tipo de calefactores son caros pero muy eficientes y a mi punto de vista muy seguro en su funcionamiento ya que cuenta con un sistema de seguridad ante la falla de flama, el cual apagara el equipo unos segundos después de no detectar la flama evitando con esto la acumulación de gas dentro del invernadero.

Los generadores de aire caliente de combustión directa, son los que incorporan tanto el aire caliente como los gases de combustión al invernadero. El combustible a utilizar debe de contener el menor número de elementos tóxicos, siendo el propano y el gas natural los más recomendados (Figura 19).



Figura 19. Generadores de aire caliente de combustión directa (cañón).

Es importante controlar los niveles de los gases de combustión para evitar problemas a personas y plantas. El rendimiento de estos equipos se considera del 100 % al introducir al invernadero el calor que producen los gases de combustión (Figura 20) (Cuadro 4).

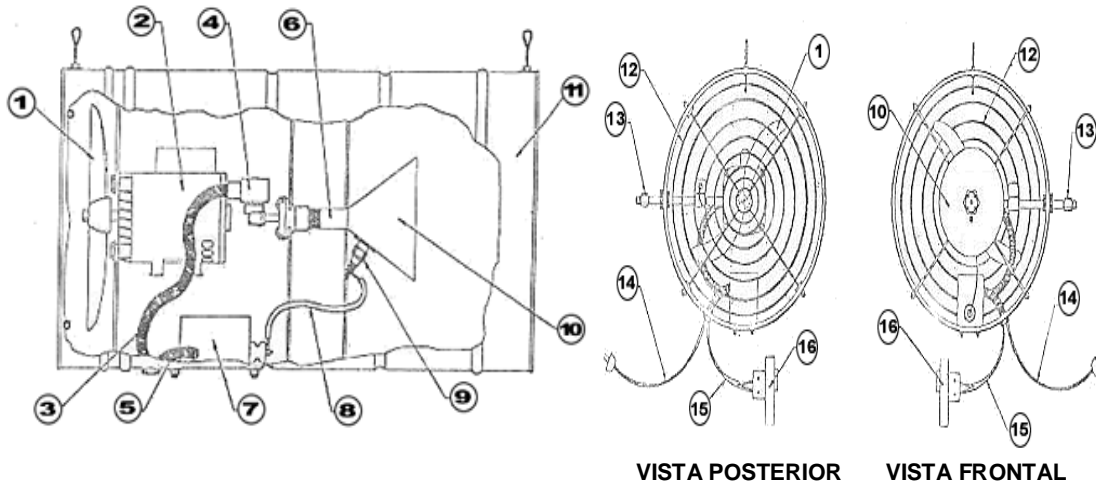


Figura 20. Vista interna del funcionamiento del calentador tipo cañón.

Cuadro 4. Partes del calefactor tipo cañón.

1	Ventilador.
2	Motor de ¼ hp. 127 v.
3	Guarda cables de la válvula.
4	Válvula solenoide.
5	Guarda cables del transformador.
6	Quemador.
7	Transformador de ignición.
8	Cable del transformador a la bujía.
9	Bujía o electrodo.
10	Cono del quemador.
11	Carcaza.
12	Rejilla de protección.
13	Niple de conexión para el gas.
14	Cable de la acometida.
15	Cable de la señal del termostato.
16	Termostato.

Este tipo de calefactores son prácticos y económico, sólo tienen un inconveniente al no contar con un sistema de seguridad para la detección de la falla de flama, lo que los hace un tanto riesgosos cuando se pierde la flama por lo que se recomienda estar pendiente de este equipo o en su defecto instalar con control de falla de flama.

4.4.1.3.1.2 SISTEMA DE CALEFACCIÓN POR CONDUCCIÓN.

Estos sistemas están diseñados para proporcionar una temperatura adecuada en la zona radicular. Desde un punto de vista físico, el objetivo de la calefacción en el suelo es utilizar, indirectamente, la superficie del suelo como un intercambiador de calor con el aire que ofrece el suelo del invernadero.

Este sistema de calefacción también conocido como pisos térmicos, han favorecido mucho a la producción, al mantener las raíces siempre a una buena temperatura, y por el movimiento natural que tiene el aire caliente que tiende a subir calentado más uniformemente el invernadero (Figura 21).



Figura 21. Piso térmico generado por la circulación de agua caliente en tuberías de polipropileno.

4.4.1.3.1.3 SISTEMA DE CALEFACCIÓN POR CONDUCCIÓN Y RADIACIÓN.

La transferencia de calor se realiza a través de tuberías, aéreas o dispuestas sobre el medio de cultivo, por donde circula agua caliente, pudiendo trabajar a alta (hasta 90° C) o baja temperatura (entre 30° C - 50° C) en función del material utilizado (metal o plástico).

Estos sistemas modifican la temperatura del aire, al calentarse por convección al contacto con los tubos, y la de los objetos (suelo, planta, cubierta del invernadero, etc.) que se encuentran a su alrededor por intercambio radiactivo. La distribución del calor es más uniforme que en los sistemas por aire, al situar las tuberías cerca del cultivo y mantener unos gradientes térmicos bajos.

Los sistemas de calefacción por agua caliente permiten distribuir el calor de forma uniforme, siendo más eficientes que los sistemas por aire. No obstante, las tuberías perforadas, que aproximan el calor a la planta, en los sistemas de calefacción por aire de combustión indirecta han mostrado una eficiencia similar a los sistemas por agua caliente a baja temperatura.

Son más eficientes los sistemas con agua caliente que los que trabajan con aire, permitiendo un mejor control del clima siendo una ventaja, salvo en el caso de que por alguna razón el sistema se llegara a parar, al enfriarse, tardará más en recuperar la temperatura de consigna (Figura 22).



Figura 22. Sistema de calefacción por convección y radiación generado por la circulación de agua caliente en tuberías de hierro y polipropileno.

No importa cuál sea el sistema de calefacción que se utilice para calentar el invernadero, lo importante es que éste pueda cubrir las necesidades de calor, por lo cual tenemos que hacer una selección adecuada del equipo con el objetivo de saber cómo es su funcionamiento y cuál es su capacidad para saber si cubre o no nuestras necesidades (Figura 23).

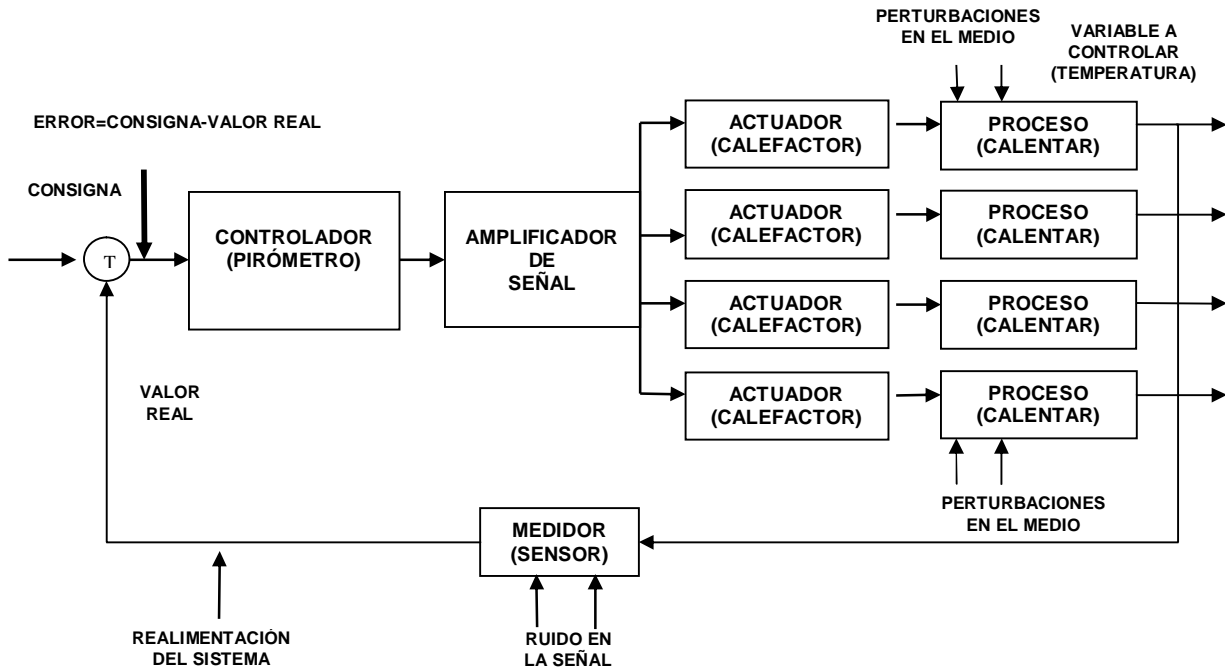


Figura 23. Sistema para el control de la calefacción.

4.4.1.3.2 SISTEMA DE VENTILACIÓN.

La ventilación consiste en renovar el aire dentro del invernadero. Al renovar el aire se actúa sobre la temperatura, la humedad, el contenido de CO₂ y el oxígeno que hay en el interior del invernadero. La ventilación puede hacerse de dos formas natural o forzada.

La ventilación, al igual que la calefacción forma parte del sistema para el control de la temperatura, es por esto que tenemos que tener conocimiento del funcionamiento de las señales que generan tanto los sensores, los controladores, amplificadores de señal y los actuadores, para poder dar un mantenimiento que nos pueda garantizar el funcionamiento adecuado en todo momento del ciclo del cultivo, ya sea por ventilación natural o forzada.

El control de temperatura recibe la señal del sensor de temperatura indicando que la temperatura ha rebasado los límites programados, el control la procesa y manda una señal al PLC para que este la administre y tome las decisiones que han sido programadas en el equipo para cuando esto sucede. Una vez procesada la señal manda una nueva señal a los amplificadores de señal para que entren en funcionamiento los actuadores, los cuales se encargaran de ventilar el invernadero.

La primera señal de mando que realiza el ordenador (PLC) es para la activación de la ventilación natural o pasiva. Esta ventilación se basa en la apertura de las ventanas tanto laterales como cenitales para que de manera natural circule el aire del exterior por las ventanas laterales y el aire caliente ascienda a la parte superior de manera natural, saliendo al exterior por las ventanas cenitales refrescando el interior del invernadero (Figura 24).

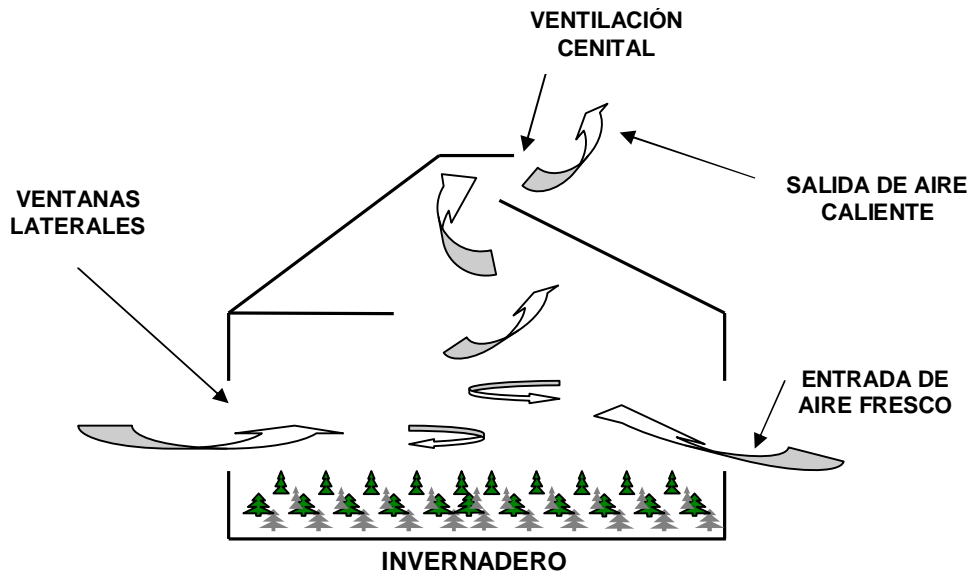


Figura 24. Ventilación natural.

Una vez que el ordenador ha mandado la primera señal de mando hacia los actuadores de las ventanas, el equipo se quedara en espera de una nueva señal en la que le indique que la temperatura programada se encuentra en los límites deseados, de no ser así, el ordenador seguirá procesando la información y dará un tiempo prudente para mandara una segunda señal de mando para el control de la temperatura, activando los ventiladores y poder dar mayor movimiento al aire dentro del invernadero evitando la acumulación de masas de aire caliente, este tipo de ventilación es conocida como ventilación forzada (Figura 25).

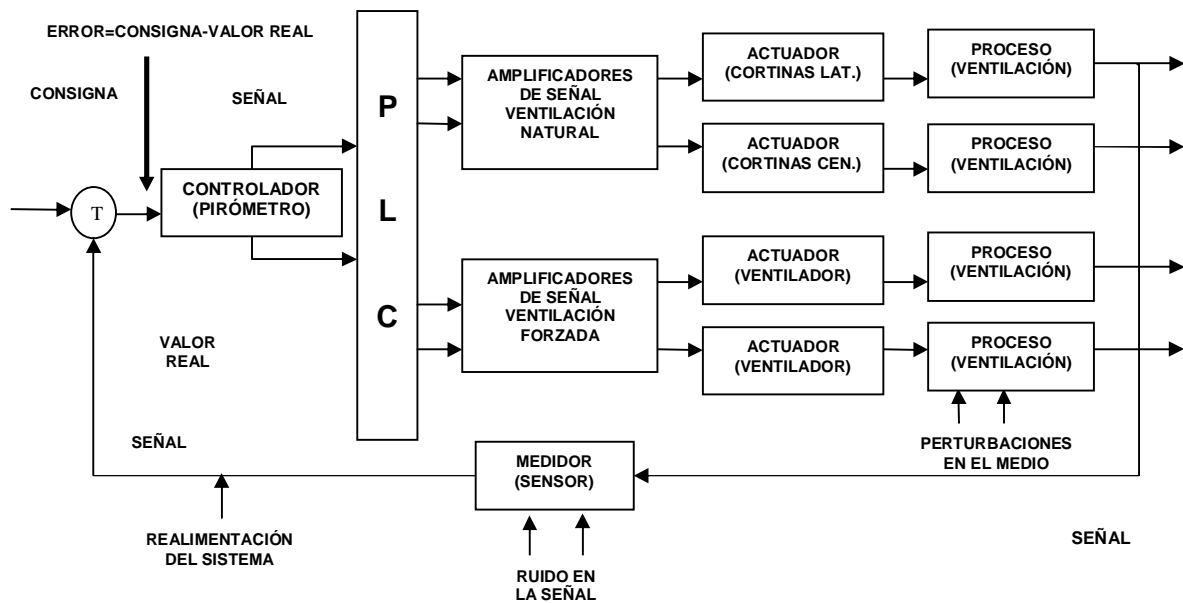


Figura 25. Control de la ventilación usando un ordenador (PLC).

4.4.1.3.2.1 VENTILACIÓN NATURAL O PASIVA.

Este tipo de ventilación se basa en la apertura de un sistema de ventanas que permiten la circulación de una serie de corrientes de aire que contribuyen a la disminución de la temperatura y el nivel hidrométrico.

En la mayoría de los invernaderos actuales se pueden encontrar dos tipos de ventilaciones: lateral y cenital, siendo su funcionamiento similar. Dependiendo de la longitud y del número de ventanas dependerá el número de motorreductores para abrir y cerrar este sistema. En función de las condiciones que se den en el interior y el exterior del invernadero, el controlador de temperatura determinará el momento en que el sistema abrirá o cerrará cada una de las ventanas. Regularmente no se mide la apertura de las ventanas, sino que se calcula el tiempo que tardara en abrirse hasta la posición deseada, la orden de apertura estará activada mientras el controlador siga registrando la temperatura elevada de acuerdo a los parámetros establecidos en el controlador (Rodríguez, 2004).

Como el aire del exterior es, generalmente más frío que el aire del interior, el controlador de temperatura determinará en que momento y hasta donde abrirá las ventanas para que el aire entre por las ventanas laterales y el aire caliente ascienda a la parte superior saliendo al exterior por las ventanas cenitales.

El sistema tiene que estar perfectamente diseñado para no generar ninguna perturbación, los tiempos de recorrido de las ventanas tendrán que estar bien calculados, no es el mismo tiempo de recorrido para la apertura de las ventanas que para el cierre, en el cierre las ventanas tienen un movimiento más rápido por el efecto de la gravedad, por esta razón es importante tener los sensores o interruptores al final de la carrera para dar seguridad de que si el recorrido lo hacen en menos tiempo de lo programando estos sensores detectarían que el recorrido ha terminado parando el sistema, evitando con esto que los motores sigan funcionando y provoque otro tipo de daño en las cortinas (Figura 26).

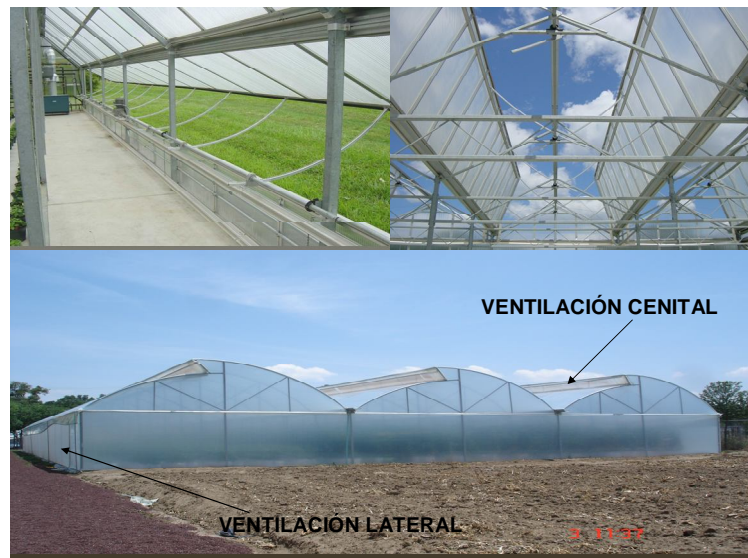


Figura 26. Ventilación natural por medio de ventilación lateral y cenital.

4.4.1.3.2.2 VENTILACIÓN FORZADA.

Los sistemas de ventilación forzada consisten en establecer una corriente de aire mediante ventiladores o extractores, en la que se extrae aire caliente del invernadero. Con este sistema solamente se puede conseguir una temperatura igual a la del exterior, pero el control es mas preciso que el que se logra con la ventilación pasiva (Figura 27).



Figura 27. Ventilación forzada por medio de ventiladores y extractores.

Este sistema de ventilación forzada también permite, además de lo antes mencionado, refrigerar con humedad bajo el sistema conocido como Paredes Húmedas o Cooling System, que consiste en una pantalla de un material poroso que se satura de agua por medio de un equipo de riego. Esta pantalla se sitúa a lo largo de una de las paredes del invernadero y en el extremo opuesto se instalan extractores eléctricos. Al momento que los extractores comienzan a funcionar, el aire del exterior pasa por esta pantalla porosa, absorbiendo la humedad y bajando la temperatura del interior del invernadero (Bernar, 2007).

Es importante que el invernadero sea lo más hermético posible, de tal manera que todo el aire que intercambien los extractores pase por esta pantalla para ser lo más eficientes (Figura 28).



Figura 28. Ventilación forzada por medio de paredes húmedas.

La ventilación al igual que la calefacción es importante para el control de la temperatura, es por ello que se requiere de un buen control en el sistema de ventilación para saber cual es el momento adecuado para que entre en funcionamiento cada uno de los actuadores que ayudaran a controlar la temperatura. El control de temperatura tendrá que estar perfectamente calibrado para determinar el momento en que activará la ventilación natural o si requiere de la ventilación forzada (Figura 29).

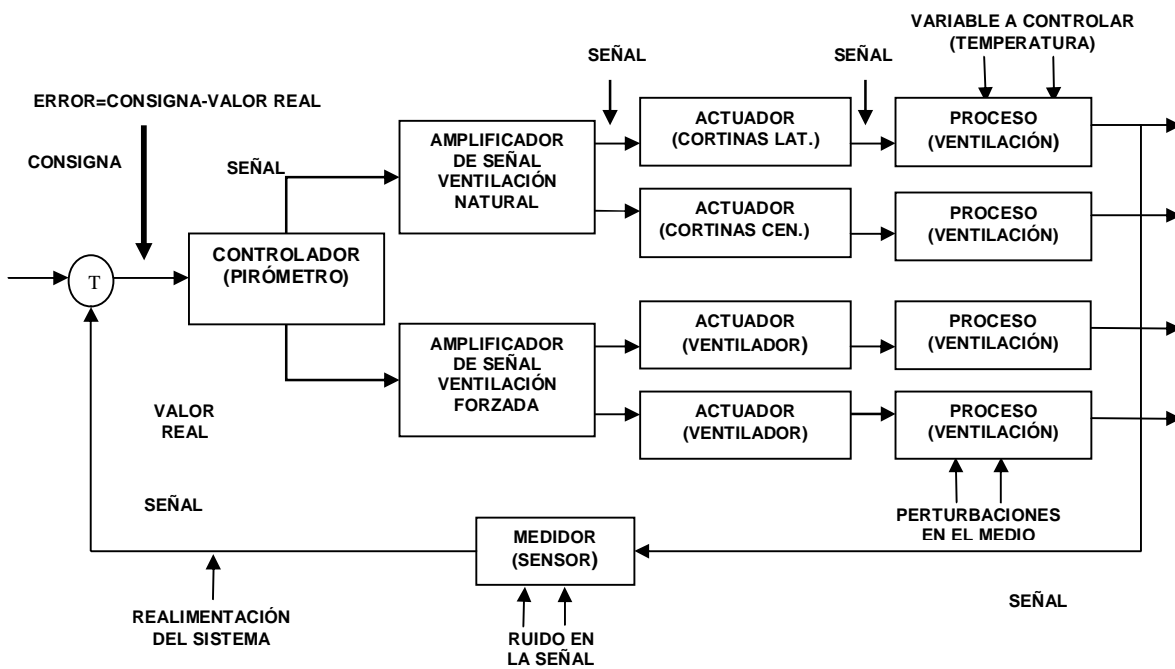


Figura 29. Sistema para el control de la ventilación.

4.4.2 SISTEMA PARA EL CONTROL DEL RIEGO.

El agua es un recurso limitado en muchas áreas agrícolas, es por esto que debe ser perfectamente optimizado su manejo para obtener su máxima rendimiento.

El agua que es absorbida por la planta o evaporada en el suelo debe reponerse periódicamente mediante el riego. Si bien un sistema de riego puede resultar costoso inicialmente, los beneficios obtenidos en la calidad y cantidad de producción lo compensan.

El objetivo del riego es aplicar al suelo o sustrato una cantidad adecuada de agua, en forma oportuna y uniforme que cubra los requerimientos hídricos y nutritivos del cultivo, con un criterio conservacionista de los recursos. Es conveniente conocer las características de los requerimientos de las especies cultivables, para poder realizar una programación adecuada del sistema.

Es importante tener un control eficiente del riego, porque tanto el exceso como la escasez de agua durante un tiempo prolongado, estresa el desarrollo de las plantas provocando mermas en la producción.

Dentro de la agricultura tecnificada el sistema de micro-irrigación es el más común, esencialmente es un sistema de transporte en el cual se reparte el agua hasta el punto más próximo a la zona radicular. El eslabón final en este sistema es el suelo al unir al sistema de riego con la planta. Las propiedades físicas y químicas de suelo o sustrato determinan su posibilidad de transporte y de almacenamiento de agua y nutrientes; en consecuencia un conocimiento del suelo y de la relación suelo-agua es un requerimiento fundamental para un buen funcionamiento del sistema.

En un principio, los sistemas para el control del riego estaban constituidos por simples temporizadores, pero los equipos han ido evolucionando hacia sistemas computarizados más complejos que permiten controlar la fertirrigación en función de los cambios del medio ambiente y los estados de desarrollo del cultivo. La elección del nivel de automatización idónea para cada caso debe realizarse en base a criterios técnico/económicos y a las preferencias del agricultor. El nivel más bajo de automatización consiste en la apertura y cierre de válvulas, continuando con el control de otros factores hasta llegar al control total de la instalación, presentando grandes ventajas:

- Aumento de la calidad del riego debido a un mejor control de la frecuencia y dosis de riego.
- Ahorro de trabajo manual, permitiendo una mayor flexibilidad en la programación de las tareas agrícolas.
- Control más adecuado de otras variables distintas de la fertirrigación como la limpieza de filtros.
- Ahorro en instalación (tuberías, bombas, válvulas, etc.) y en el costo del funcionamiento, consumiendo menor energía eléctrica.

- Permite el control de situaciones desfavorables como averías en la red, bombas trabajando en vacío, activando las alarmas del sistema.
- Permite programar el riego y la fertirrigación en función de distintas variables (humedad del suelo, evaporación, radiación, etc.).
- Facilita el almacenamiento de los datos y la gestión de los mismos suministrando datos estadísticos, gráficos, y estudios de consumo (agua, fertilizante y energía).

El control del riego bajo invernadero se puede dar de dos formas una que es por medio de simples temporizador, este es un sistema de control de lazo abierto en el cual solo se controla el riego por tiempos calculados de manera aproximada, el otro es por medio de sensores los cuales indicaran el momento en que el cultivo requiere de agua que será proporcionada por el sistema, este es un sistema de riego de lazo cerrado al estar retro alimentado y condicionado a la señal que mandan los sensores para poder activar el sistema.

4.4.2.1 PARTES DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DEL RIEGO.

El sistema para el control del riego está formado por sensores de humedad (tensiómetros), el control de humedad o riego, los amplificadores de señal y los actuadores. Cada uno de estos forma parte del sistema y dependen uno del otro para que pueda funcionar de manera correcta el sistema (Figura 30).

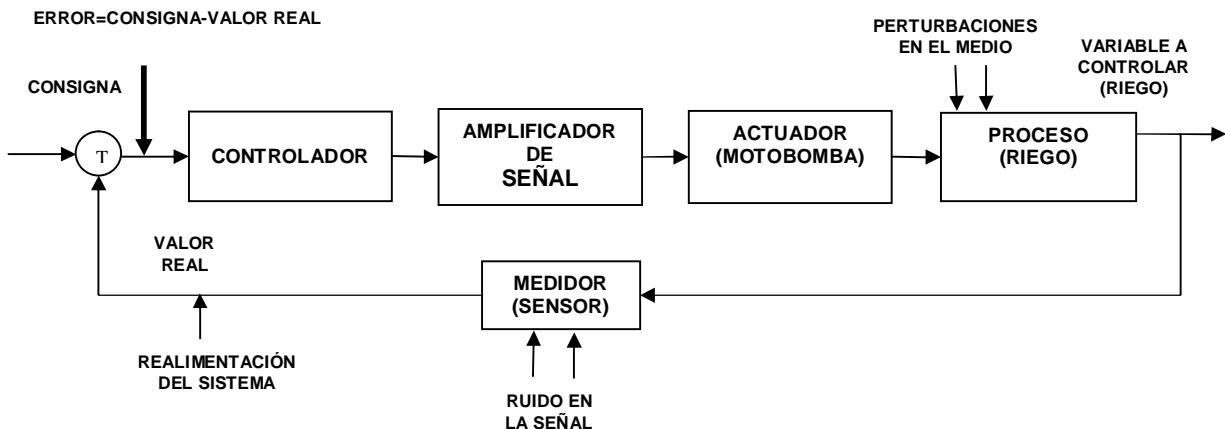


Figura 30. Sistema para el control del riego.

4.4.2.1.1 SENSORES DE HUMEDAD PARA EL CONTROL DEL RIEGO.

Para medir la humedad del sustrato se emplean tensiómetros muy sensibles, cuyos límites de lectura están normalmente, entre 1 y 10 KPa de tensión métrica y con cápsulas de cerámicas especiales que proporcionan una lectura más rápida. Por el otro extremo está conectado a un manómetro o a un vacuómetro los cuales, están cerrados herméticamente. Este sensor ayudara a saber cuándo regar y cuánta agua aplicar (Castilla, 2005) (Figura 31).



Figura 31. Tensiómetro con manómetro.

Los tensiómetros se usan en la agricultura, tanto en cultivos protegidos como a cielo abierto, dando buenos resultados en sistemas de riego por goteo y en suelos arenosos (suelos).

A medida que el suelo se seca, absorbe agua a través de la cerámica porosa creando una succión (vacío parcial) dentro del tubo que es proporcional al cambio de humedad del suelo o sustrato.

Hoy en día los tensiómetros están diseñados para indicar los niveles de humedad que existen en el suelo o sustrato, convirtiendo las lecturas de centibares o kilopascales a lecturas de corriente de 4-20 mA. Esta lectura puede ser leída por un transductor de señal, en el que se pueden tener parámetros de control para que de esta manera poder mandar la señal a los actuadores y controlar la humedad que requiere el cultivo (Figura 32).

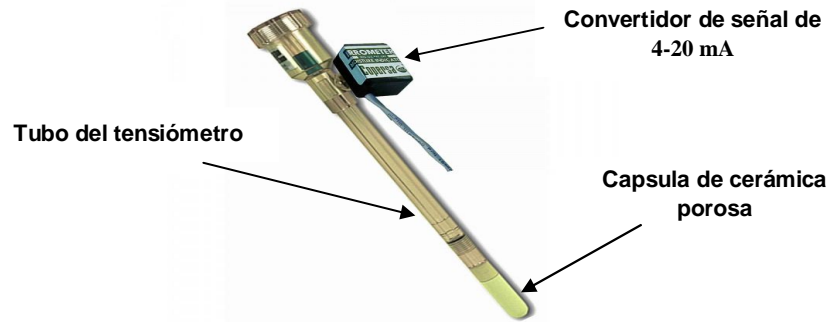


Figura 32. Tensiómetro con convertidor de señal de 4-20 mA.

El sensor de humedad soil moisture utilizan la conductividad que contiene el suelo, la cual va a ser mayor mientras más sea la cantidad de agua presente en el suelo. Se introducen dos electrodos separados por cierta distancia, para luego ser sometidos a una diferencia de potencial constante. La corriente circulante será entonces proporcional a la cantidad de agua presente en la muestra. Cuando no exista humedad en la tierra, el sensor mandara una señal de 0 al PLC o controlador, el cual mandara la señal a los actuadores para que se active el sistema de riego durante unos minutos para así mantener a las plantas hidratadas (Figura 33.)

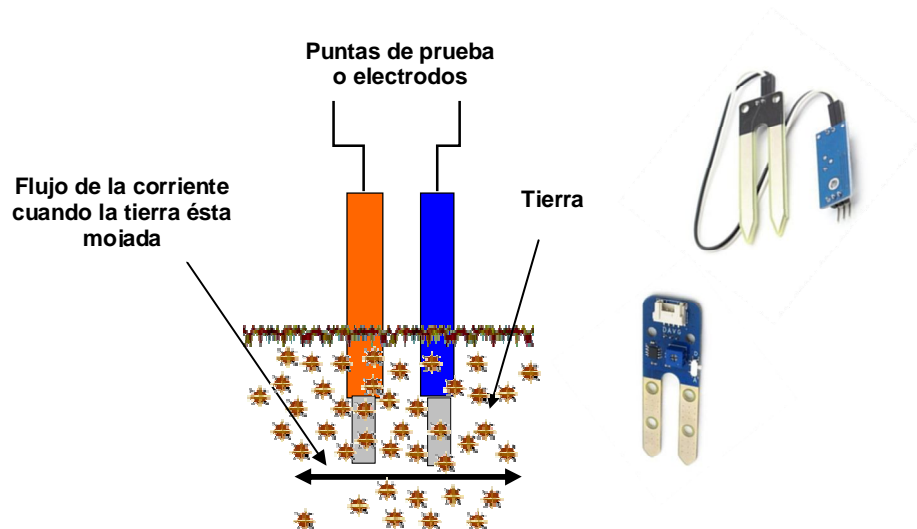


Figura 33. Funcionamiento de un sensor de conductividad en suelo tipo soil moisture.

4.4.2.1.2 CONTROLADORES DE RIEGO.

Existen dos formas de controlar el riego dentro del invernadero uno es por medio de temporizadores y el otro con un controlador de procesos.

Al hacer uso de temporizadores estamos controlando el riego solo por tiempos aproximados, esto es calculando la duración del riego en función de la dosis necesaria que nuestro cultivo necesita, por lo cual la precisión del riego depende de quién programe el o los temporizadores. (Figura 34).



Figura 34. Temporizadores que se utilizan dentro del sistema de riego.

4.4.2.1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONTROL DE RIEGO.

Dentro de los relevadores de tiempo, mejor conocidos como temporizadores tenemos el DATA LOG 2 de la marca Orbis (Figura 35).

Este temporizador es un interruptor horario digital muy compacto, de fácil instalación y de alta precisión, el cual cuenta con.

- Dos circuitos conmutados independientes y libres de potencial, es capaz de controlar dos motobombas de manera totalmente independientes.
- Está diseñado para el control de cualquier instalación eléctrica.
- Incorpora la posibilidad de realizar maniobras de corta duración (de 1 a 59 segundos).
- Ciclos repetitivos y programas aleatorios.
- Cambio automático del horario de verano – invierno.
- Contador de horas de actuación de los canales.
- El menú de programación pueden programarse en 5 idiomas.
- Presenta en la pantalla un programa que muestra la programación del día actual, del canal 1 o del canal 2, para alternar la visualización del programa del canal 1 al canal 2 o viceversa, sólo pulsando la tecla “C” (C1 – C2).

- El programa del equipo está dividido en 48 divisiones en las que cada segmento representa 30 minutos, pudiendo realizar hasta 1,440 maniobras diarias.
- El equipo cuenta con una batería de litio capaz de dar respaldo a la información hasta por 5 años sin alimentación.

En la parte frontal encontramos la pantalla y cuatro botones para el cambio del funcionamiento de los diferentes pasos del programa.

La pantalla nos indica todas las funciones del estado en que se encuentra el programa. La fecha actual, la hora actual, el tipo de horario (verano - invierno), si el programa es normal, aleatorio o de vacaciones, estado de los canales (C1 – C2) si están en función o en reposo.

Botones para el ajuste del programa:



- Accionamiento manual del canal C2.
- Ascender en la función del menú.



- Accionamiento manual del canal C1.
- Descender en la función del menú.



- Retroceder dentro de las funciones del menú.
- Cambio del cronograma C1 – C2.



- Acceder al menú.
- Validar opciones del programa en la pantalla.



Figura 35. Relevador de tiempo (temporizador) Data Log 2.

El riego más eficiente es el realizado por medio de un controlador de riego (controlador de procesos) el cual trabaja en función de las señales que le mandan los sensores de humedad (tensiómetros) aplicando al suelo la cantidad adecuada de agua que la planta requiere. En este caso pondremos como ejemplo un controlador digital de la marca PCE mod. PAR 99X-MA (Figura 36).



Figura 36. Control digital de humedad PAR 99X-MA.

El control PAR 99X-MA es un control de múltiples usos en la industria y la investigación. Puede conectar al equipo diferentes sensores en las entradas 4-20 mA. Los canales pueden ser identificados individualmente y escalados digitalmente. Este equipo es apto para el uso en pequeños y medianos sistemas de medición y control, además le permite registrar simultáneamente hasta ocho señales de proceso. Los valores registrados se almacenan en la memoria interna y pueden ser leídos a través del puerto RS-485 en una PC, o pueden traspasarse los datos a una memoria USB. Para configurar el equipo se tiene a disposición un software que le permite efectuar los ajustes necesarios a través de una PC. También se pueden efectuar los ajustes directamente en el equipo. Las configuraciones realizadas se pueden guardar como carpeta, lo que le permite traspasarlos a otro equipo, o volverlas a cargar en un momento posterior. En la pantalla se puede graficar directamente el transcurso gráfico de los diferentes sensores (Cuadro 5).

El control cuenta con:

- Pantalla gráfica LCD de 128 x 64 píxeles con iluminación de fondo.
- Puerto USB para conexión de una memoria USB externa.
- Memoria interna 8 MB.
- Interfaz RS-485.
- Entradas digitales escalables.

- Alimentación del sensor.
- Configuración a través del PC o directamente en el registrador analógico.
- Versión de 4 y 8 entradas analógicas.
- Diferentes modos de indicación.
- Dos salidas de alarma.

Cuadro 5. Especificación técnica del controlador PAR-99X-M.

Entradas analógicas PAR-99X-MA4 PAR-99X-MA8	4 X 0/4-20 mA 8 X 0/4-20 mA
Entrada digital	24VDC
Resolución	12 bit.
Precisión (18°C - 28°C)	± (0,25 % + 1 dígito)
Resistencia de entrada	100 Ω
Pantalla	Pantalla gráfica con iluminación de fondo resolución: 128 x 64 píxeles
Rango de indicación	± 9999
Alimentación del sensor	24 V DC, ± 5%, máx. 200 mA
Dimensiones	96 x 96 x 100 mm
Tensión de alimentación	85 ... 260 V AC, 50/60 Hz, 12 VA

4.4.2.1.2.2 CONEXIÓN DEL CONTROL DE RIEGO.

La conexión de temporizadores es muy sencilla, cuenta con un diagrama en el cual nos explica de manera muy clara como se tiene que conectar cada una de las terminales o bornes de conexión, tanto para la alimentación de la corriente, como para cada uno de los canales de alimentación que mandaran la señal para las activación de las motobombas del riego (Figura 37) (Cuadro 6).

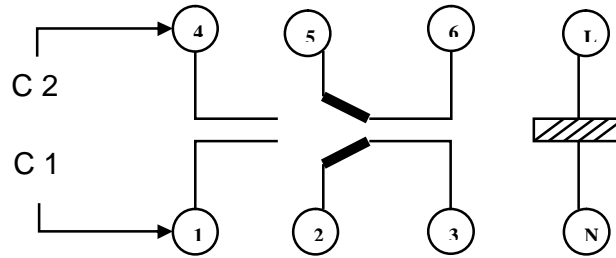


Figura 37. Diagrama de conexión del Data Log 2

Cuadro 6. Conexiones del temporizador Data Log 2.

No. de terminal	Función
L y N	Estas terminales son las entradas para la alimentación del temporizadores (24, 120 ó 220V.).
1, 2 y 3	Terminales para el canal C1 donde: 2 Es el contacto común. 3 Es el contacto normalmente cerrado (NC). 1 Es el contacto normalmente abierto (NA).
4, 5 y 6	Terminales para el canal C2 donde: 5 Es el contacto común. 6 Es el contacto normalmente cerrado (NC). 4 Es el contacto normalmente abierto (NA).

4.4.2.1.3 ACTUADORES DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DEL RIEGO.

Como ya se mencionó anteriormente, los actuadores son los dispositivos encargados de recibir la señal del controlador para la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre el proceso que se desea controlar, es el elemento final de control.

Para el control del riego, el actuador es el dispositivo que entrará en función para prender o apagar la motobomba y la activación de la válvula solenoide que se encargarán de realizar el riego (Figura 38).

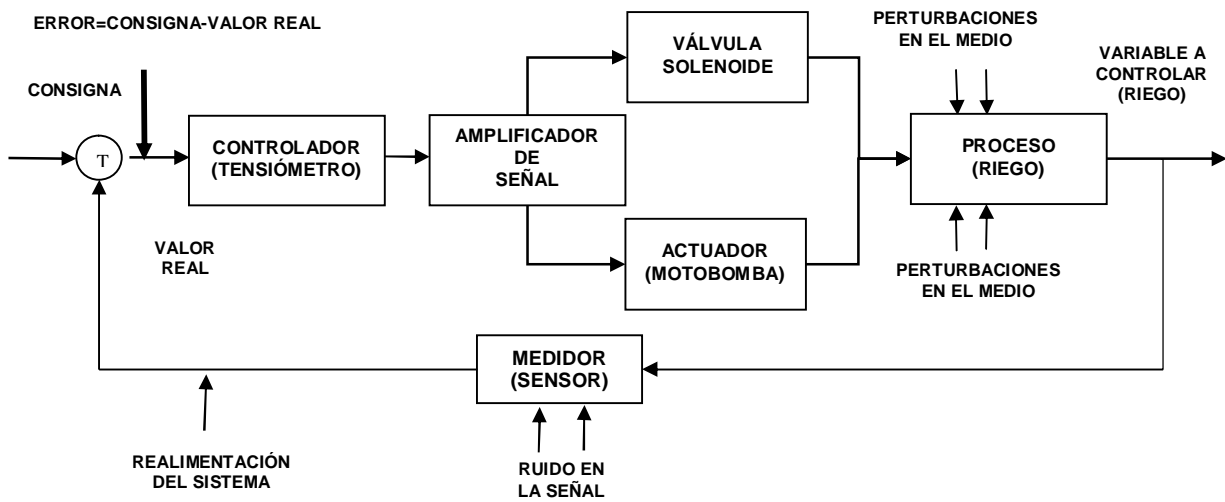


Figura 38. Sistema para el control del riego.

4.4.2.1.3.1 MOTOBOMBA PARA EL RIEGO.

La motobomba es el actuador más importante dentro del sistema de fertirrigación. Como ya es sabido el objetivo principal de la motobomba de riego es, suministrar el caudal de agua requerido a la presión necesaria para que la distribución del agua sea uniforme dentro del sistema.

Una motobomba se usa en situaciones en las que se necesita mover una gran cantidad de agua de forma efectiva y eficiente. La selección de la motobomba va en función de la aplicación y de la localización.

En instalaciones de fertirrigación regularmente se usan motobombas eléctricas las cuales son más prácticas en su uso que las de gasolina debido a que su sistema de encendido es automático y solo requieren de la señal eléctrica del controlador para entrar en marcha (Figura 39).



Figura 39. Motobomba de un sistema de riego.

4.4.2.1.3.2 VÁLVULA SOLENOIDE.

Las válvulas solenoides son los actuadores más comunes. Su principio de funcionamiento se basa en el movimiento de un pistón (núcleo ferroso) en el interior de una bobina de cable. Normalmente, el pistón se mantiene fuera de la bobina empujando por un muelle o resorte, manteniendo cerrado el paso de agua. Cuando el controlador manda la señal, se energiza la bobina y circula la corriente generando un campo magnético que atrae al pistón hasta el centro de la bobina abriendo el paso para la circulación del agua (Rodríguez, 2004) (Figura 40).



Figura 40. Válvula solenoide para el control del riego.

Las válvulas que normalmente se usan, son de paso normalmente cerradas (NC), esto quiere decir que mientras no reciban la señal del controlador permanecerán cerradas evitando la circulación de los líquidos o gases.

Las válvulas solenoides son usadas para el control de las diferentes secciones del sistema de riego, son colocadas al inicio de cada línea dentro del invernadero o dentro del sistema principal del quipo de fertirrigación para evitar las fugas por presión y dar paso a un riego más controlado.

4.4.3 SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA.

La humedad relativa es la cantidad de agua existente en el aire. Es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando la humedad relativa es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su desarrollo, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y favorecen al desarrollo de enfermedades criptogámicas. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpirarán en exceso, pudiendo deshidratarse, además de los problemas provocados por el mal cuajado de la flor.

Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la cantidad vapor de agua y por lo tanto disminuye la humedad relativa. Con temperaturas bajas, el contenido de humedad relativa aumenta.

Cada especie tiene una humedad ambiental requerida para poder desarrollarse en perfectas condiciones. Para que la humedad relativa se encuentre lo más cerca del óptimo, el agricultor debe ayudarse de algunos instrumentos para medir los porcentajes de humedad existentes y de esta manera poder corregirlo de manera adecuadamente y oportuna.

El control de la humedad relativa dentro del invernadero es tan importante como el control de la temperatura. El sistema para el control de la humedad es una herramienta fundamental para poder suministrar humedad al cultivo en la cantidad y frecuencia requerida, de forma que se optimice el aprovechamiento de los mismos, evitando situaciones de estrés que afectan negativamente a la producción.

4.4.3.1 PARTES DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA.

El sistema para el control de la humedad al igual que los de más sistemas está formado por sensores de humedad ambiental (higrómetro), el control de humedad (humidostato), los amplificadores de señal y los actuadores. Cada uno de estos forma parte del sistema y dependen uno del otro para que pueda funcionar de manera correcta el sistema (Figura 41).

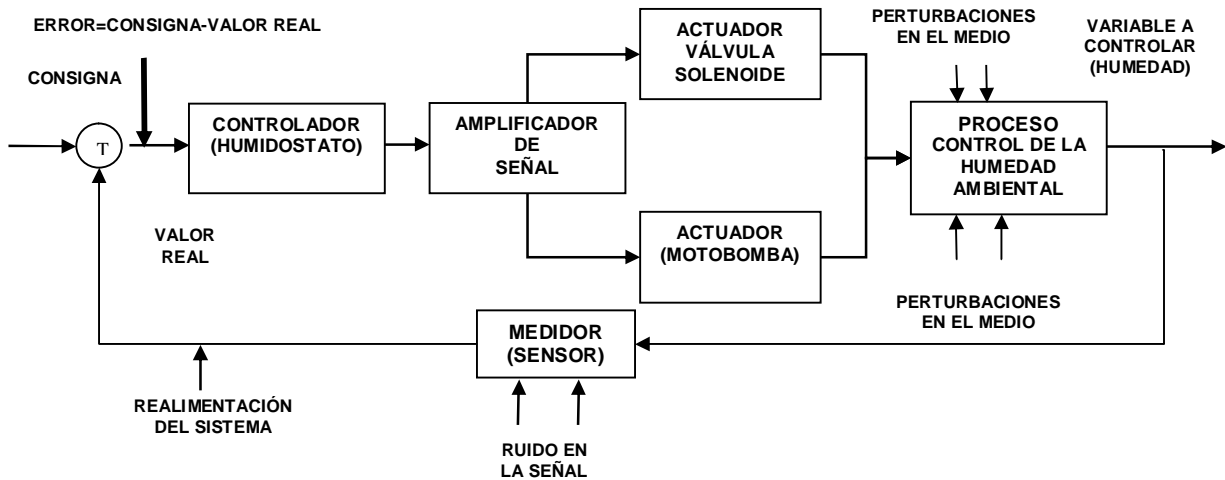


Figura 41. Sistema para el control de humedad relativa.

4.4.3.1.1 SENSORES PARA EL CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA.

Para medir la humedad relativa se pueden utilizar higrómetros, que envían una señal proporcional al nivel de humedad, estos sensores en su mayoría son compensados con temperatura para dar el porcentaje de humedad equivalente.

Un higrómetro es un instrumento que se usa para medir el grado de humedad del aire, por medio de sensores que perciben e indican su variación.

Generalmente el material con que está constituido, es un material orgánico muy sensible que cambia de longitud o volumen al variar la humedad del ambiente en que se encuentra.

Para ello se utilizan cabellos, membranas de animales, ciertos tipos de maderas, fibras textiles y algunos materiales artificiales.

El más empleado es el higrómetro de cabello. El órgano sensible lo constituye un haz de cabello de mujer, generalmente rubios, los cuales han sido previamente sometidos a un tratamiento de lavado para eliminar la grasa. Cuando la humedad aumenta, los cabellos absorben el vapor de agua y aumenta la longitud y por el contrario al disminuir la humedad, reduce la longitud.

Los cambios de longitud se amplifican mediante un sistema mecánico de palancas que mueven un índice sobre una escala graduada.

El higrómetro de condensación se basa en la condensación de vapor de agua sobre los cuerpos fríos. Manteniendo fría una capsula y haciendo pasar el vapor de agua por ella, ésta se condensa; midiendo la temperatura a la que esto se produce y conociendo la temperatura ambiente, podemos determinar la humedad.

Otro tipo de higrómetro de los más utilizados son los de tipo electrónico, estos son los que utilizan las propiedades de algunos materiales los cuales varían su resistencia eléctrica al variar la humedad. Utilizan electrodos metálicos recubiertos de sales, lo que permite estimar la variación de la humedad (Figura 42).

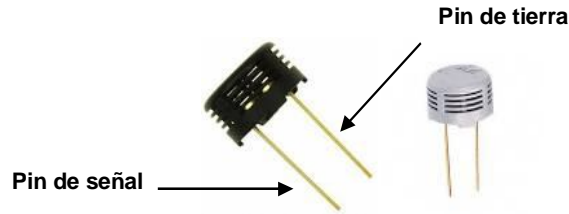


Figura 42. Sensor de humedad HS1101.
(www.digikey.com)

El sensor de humedad relativa HS1101 está formado por un condensador de dos láminas como placas y como dieléctrico, una lámina no conductora que varía su constante dieléctrica, en función de la humedad relativa de la atmósfera.

El higrómetro químico se basa en la afinidad que existe entre el agua y el ácido sulfúrico. Es un dispositivo en el cual circula un volumen de aire en contacto con una cierta cantidad del ácido. El aumento de peso que experimenta la solución ácido sulfúrico indica la cantidad de agua en el volumen de aire.

4.4.3.1.2 CONTROLADOR PARA LA HUMEDAD RELATIVA.

El controlador de humedad conocido como humidostato detecta la señal de los sensores, la cual generalmente está en un nivel de baja potencia y la amplifica a un nivel suficientemente alto.

Dependiendo del modo de operación, el humidostato puede ser de tipo mecánico o electrónico.

Los humidostatos mecánicos son aquellos en los que el elemento sensible está fabricado con cabello humano, el cual ha demostrado ser el material más sensible y estable conocido para esta aplicación. Cuando la humedad aumenta el cabello absorbe el vapor de agua aumentando la longitud, esto provoca un movimiento en el mecanismo interno generando una señal de acuerdo a la establecida en la escala del control, por el contrario al disminuir la humedad reduce la longitud mandando una señal inversa en el control.

El humidostato dispone de dos funciones de salida:

- Humidificación. El relevador de salida se activa cuando la medida de humedad es inferior a la consigna de humedad seleccionada.

- Deshumidificación. El relevador de salida se activa cuando la medida de humedad es superior a la consigna de humedad seleccionada.

Dependiendo de la señal que mande el equipo, los actuadores tendrán que humidificar (aumento de la humedad ambiental) o deshumidificar (disminuir la humedad ambiental).

Los humidostatos mecánicos se caracterizan por ser montados en la pared y no requieren de alimentación eléctrica para el funcionamiento de la parte sensible, bajo las condiciones normales, estos controles mantienen su sensibilidad y exactitud durante muchos años (Figura 43).

Los humidostatos electrónicos o digitales son aquellos en los que el elemento sensible es un condensador el cual manda la señal a un microprocesador, con el objeto de realizar las funciones de control del nivel de humedad relativa, de manera óptima y eficiente, en ambientes no saturados, actuando sobre equipos de humidificación y deshumidificación.

Los humidostatos digitales se caracterizan por su cómodo y sencillo manejo, su montaje puede ser en pared o dentro del panel de control, su funcionamiento requiere de una fuente eléctrica de alimentación para que el funcionamiento de la parte sensible.

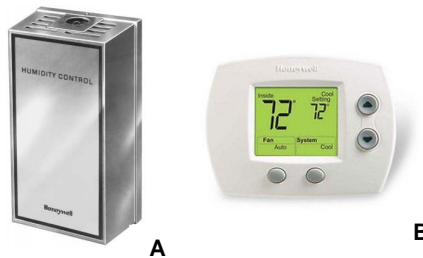


Figura 43. Humidostatos A) Mecánico B) Digital
(www.honeywell.com)

4.4.3.1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONTROL DE HUMEDAD RELATIVA.

Actualmente en la agricultura se están utilizando humidostatos digitales gracias a que cuentan con un display en el cual se puede ver directamente al porcentaje de humedad que está registrando el sensor, un ejemplo es el controlador N323RHT de la marca NOVUS (Figura 44).

El N323RHT tiene como particularidad que es un equipo compacto de alta precisión y de fácil instalación, en términos generales cuenta con:

- Controla dos variables (Humedad Relativa y Temperatura) seleccionables.

- Dos salidas de relevador que pueden ser configurables de manera independiente para actuar como control o alarma.
- Humedad:
 - Rango de medición: 0 a 100% de humedad relativa (RH).
 - Precisión RH: 3% a 25° C.
 - Resolución de medición: 1% en todo el rango.
 - Tiempo de respuesta a la señal del sensor de 4 segundos en el rango de 10 a 90% con aire en movimiento suave.
- Temperatura:
 - Rango de medición: -20 a 80° C.
 - Precisión T: 0.5° C a 24° C.
 - Resolución de medición: 0.1° C de 19.9 hasta 80° C.
 - Tiempo de respuesta hasta 30 segundos con aire en movimiento suave.
- Histéresis ajustable.
- Alimentación: 100-240VAC.
- Dimensiones 75x33x75.



Figura 44. Humidostato digital N323RHT.
(www.novus.com)

En la parte frontal del quipo tenemos:



Cursores para el cambio de los valores del programa.



Botón del MODO para entrar al programa.

P1. Led indicador de que la alarma 1 esta activada.

P2. Led indicador de que la alarma 2 esta activada.

4.4.3.1.2.2 CONEXIÓN DEL CONTROL DE HUMEDAD RELATIVA.

La conexión del control es muy sencilla ya que al igual que cualquier controlador cuenta con un diagrama en el cual se explica de manera muy clara como se tiene que conectar cada una de las terminales o bornes de conexión, tanto para la alimentación de corriente, el sensor y dependiendo de las señales que se manejan las salidas para los actuadores que controlaran la humedad relativa (Figura 45) (Cuadro 7).

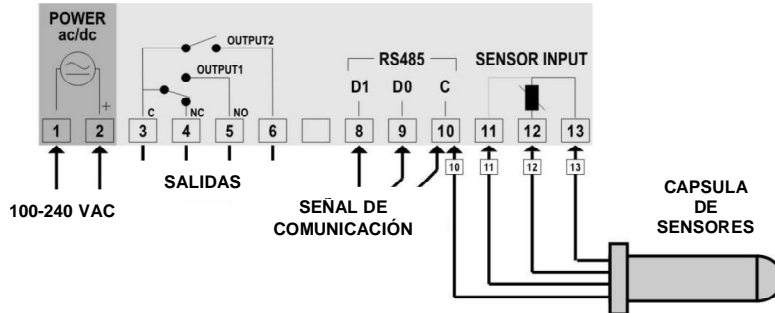


Figura 45. Diagrama de conexión del controlador N323RHT.
(www.novus.com.br)

Cuadro 7. Conexiones del control de humedad N323RHT

No. De terminal	Función
1 y 2	Entradas de alimentación del control 100-240VAC.
3	Entra de alimentacion para el contacto comun (C).
4	Contacto normalmente cerrado (NC).
5	Contacto normalmente abierto (NA). Es la señal de salida para la alarma 1.
6	Contacto normalmente abierto (NA). Es la señal de salida para la alarma 2.
8,9 y 10	Salidas de comunicación para una señal remota.
10, 11, 12 y 13	Entradas para la señal del sensor. Las terminales 10 y 11 son para la señal de Humedad. Las terminales 12 y 13 son para la señal de Temperatura.

4.4.3.1.3 ACTUADORES DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA.

La humedad relativa se puede controlar y aumentar mediante el sistema de evaporación de agua, nebulizadores, micro aspersores y muros húmedos o regando agua en el piso para que se evapore, disminuya la temperatura y aumente el contenido de humedad relativa (Bastida, 1999).

El sensor registra la humedad y manda la señal al controlador, el cual la procesa de acuerdo a los límites programados y manda la señal a los actuadores eléctricos para que se active la motobomba o los ventiladores, dependiendo del sistema que se tengan instalado para el control de la humedad (Figura 46).

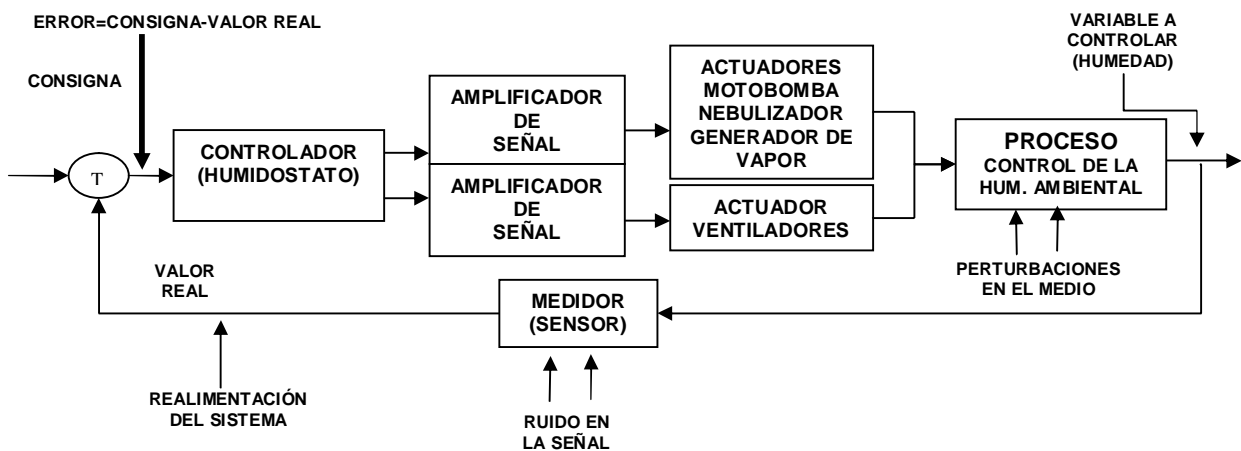


Figura 46. Sistema para el control de la humedad relativa.

4.4.4 SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA LUZ.

La luz es un factor primordial en el desarrollo de la vida de las plantas, sin ella no pueden realizar la fotosíntesis. La luz es la energía radiante, luminosa o visible, comprendida entre los 390 y 760 nanómetros de longitud de onda del espectro electromagnético, que es vital para las plantas.

La regulación de la luz en el invernadero es importante para alternar la duración del día o para interrumpir la noche, mediante iluminación artificial o pantallas de oscurecimiento.

La iluminación artificial suplementaria en un invernadero es muy frecuente para cultivos de alto rendimiento. La iluminación suplementaria tiene como objetivo principal el aumento de la fotosíntesis y la prolongación del periodo de luz (fotoperiodo) que permite incrementar la radiación acumulada diaria (Bernat, 2007).

4.4.4.1 PARTES DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA LUZ.

El sistema para el control de la luz está formado por el sensor, el controlador, los amplificadores de señal y los actuadores. En la mayoría de los casos solo se utilizan relevadores de tiempo (temporizadores) para prolongar el periodo de luz que se requiere dentro del invernadero y en otros casos se utilizan mallas sombra para disminuir el paso de los rayos del sol en los días con radiación más fuerte, y de esta manera disminuir la temperatura dentro del invernadero.

4.4.4.2 SENSORES DE LUZ.

La parte más importante de éste y de todos los sistemas es el sensor, ya que es el encargado de detectar la cantidad de luz que existe y mandar la señal al controlador o PLC para que este mande, a su vez, la señal a los actuadores y de esta manera realizar el control de la luz.

Existen una gran cantidad de sensores de luz, pero en la actualidad todos trabajan con el mismo sistema, utilizan una fotorresistencia, de la cual depende todo este sistema.

FOTORRESISTENCIAS.

Una fotorresistencia es un componente electrónico cuya resistencia disminuye con el aumento de intensidad de luz incidente. Puede también ser llamado fotorresistor, fotoconductor, célula fotoeléctrica o resistor dependiente de la luz, cuyas siglas son, LDR (**L**ight **D**ependent **R**esistors). Su cuerpo está formado por una célula o celda y dos pastillas.

Su funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico. Un fotorresistor está hecho de un semiconductor de alta resistencia como el sulfuro de cadmio, (CdS). Si la luz que incide en el dispositivo es de alta frecuencia, los fotones son absorbidos por las elasticidades del semiconductor dando a los electrones la suficiente energía para saltar la banda de conducción. El electrón libre que resulta, y su hueco asociado, conducen la electricidad, de tal modo que disminuye la resistencia. Los valores típicos varían entre 1 M Ω , o más, en la oscuridad y 100 Ω con luz brillante.

Las células de sulfuro del cadmio se basan en la capacidad del cadmio de variar su resistencia según la cantidad de luz que incide la célula. Cuanta más luz incide, más baja es la resistencia. Las células son también capaces de reaccionar a una amplia gama de frecuencias, incluyendo infrarrojo (IR), luz visible, y ultravioleta (UV).

Se fabrican en diversos tipos y pueden encontrarse en muchos artículos de consumo, como por ejemplo en cámaras, medidores de luz, relojes con radio, alarmas de seguridad o sistemas de encendido y apagado del alumbrado de calles (Figura 47).

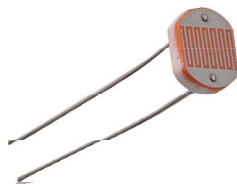


Figura 47. Fotorresistencia LDR.
(www.compuinteg.blogspot.mx)

En la agricultura protegida este tipo de sensores son de gran utilidad para el control de la iluminación en cultivos que requieren del manejo del fotoperiodo.

4.4.4.3 CONTROLADORES DE LUZ.

Hay dos formas de controlar la luz en un invernadero, uno es por el método tradicional, haciendo uso de controladores horario (temporizadores) y el otro es por medio de controladores fotoeléctricos.

El control de la luz por medio de un temporizador diario, funciona con un controlador ON-OFF en tiempo real cuyo objetivo es alargar el tiempo de luz que necesitan las plantas dentro del invernadero. Para cultivos de flores con fotoperiodo largo que requieren un aproximado de 16 horas continuas de iluminación, para ello habrá que suplementar con luz artificial la cual será activada por el reloj de tiempo real.

Un ejemplo de temporizador diario para el control del fotoperiodo en invernadero es el DATA LOG 2 (Figura 31) es el mismo que se utiliza en el control del riego.

El control fotoeléctrico (fotoceldas) es un sensor de luz que emite una señal con diferente intensidad, según el momento del día, el sensor registra una mayor intensidad mientras haya mayor irradiación solar. El sensor puede emitir una señal en 15 bloques durante el día con el sol en posición vertical, y aproximadamente 5 bloques durante la tarde. Si el sensor tiene un bloque por encima de la mitad, no se emitirá ninguna señal, que pueda ser útil para el control de los niveles de luz con lámparas de iluminación artificial. El control cuenta con una señal normalmente abierta (NO) y una normalmente cerrada (NC), para que las luces prendan o apaguen según se requiera (Figura 48).

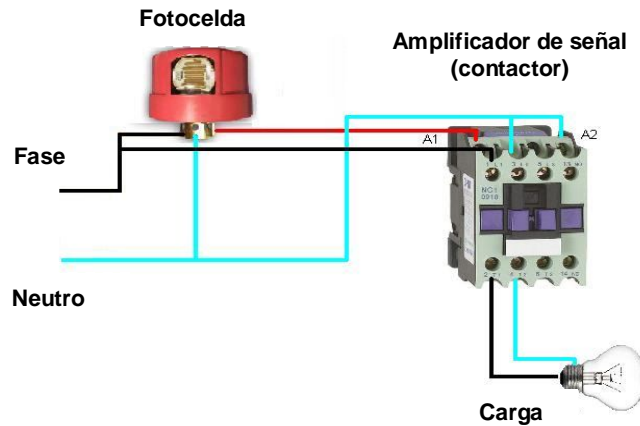


Figura 48. Fotocelda para el control de la luz.
(www.detodo.yoreparo.com)

4.4.4.4 ACTUADORES PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE LUZ.

Los actuadores utilizados dentro de este sistema son de tipo eléctrico, transmiten las señales eléctricas de un punto a otro, son actuadores simples debido a que solo transmiten señales eléctricas para el encendido y apagado de las luces y en ocasiones las señales son mecánicas para el movimiento de alguna malla sombra (Figura 49 y 50).

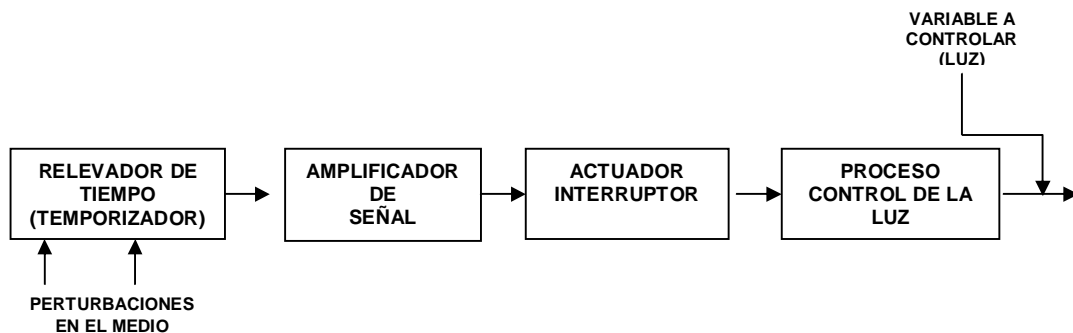


Figura 49. Diagrama para el control de luz.

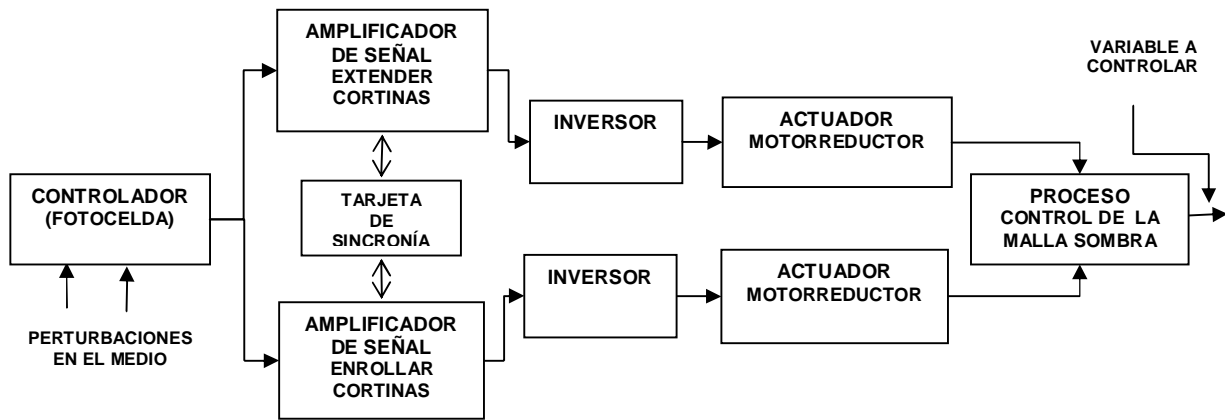


Figura 50. Diagrama para el control de la malla sombra.

4.4.5 SISTEMA PARA EL CONTROL DEL CO₂.

La concentración de CO₂ en el aire del invernadero es uno de los principales factores que determinan la producción, ya que forma parte de la fórmula base de la fotosíntesis. En función del objetivo que se desea alcanzar en cada fase del cultivo, las necesidades CO₂ son diferentes.

La concentración de CO₂ en la atmósfera suele encontrarse en torno a 300ppm. Sin embargo, en un invernadero la concentración de CO₂ puede alcanzar niveles de hasta 5,500ppm, esto se debe a que el CO₂ generado por las plantas es atrapado durante la noche llegando a su máxima concentración poco antes del amanecer. Después se tiene una disminución hasta el medio día, cuando se llega a niveles por debajo de las 300ppm. Como resultado, si el invernadero no recibe CO₂ adicional, se tiene un déficit, el cual se tiene que compensar para corregir la demanda.

4.4.5.1 PARTES DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DEL CO₂.

Cuando el sensor de CO₂ detecta una variación en los límites de concentración permitidos, el controlador lo registra y procesa para mandar la señal que se requiera ya sea para la aplicación del CO₂ o la liberación del excedente que exista dentro del invernadero (Figura 51).

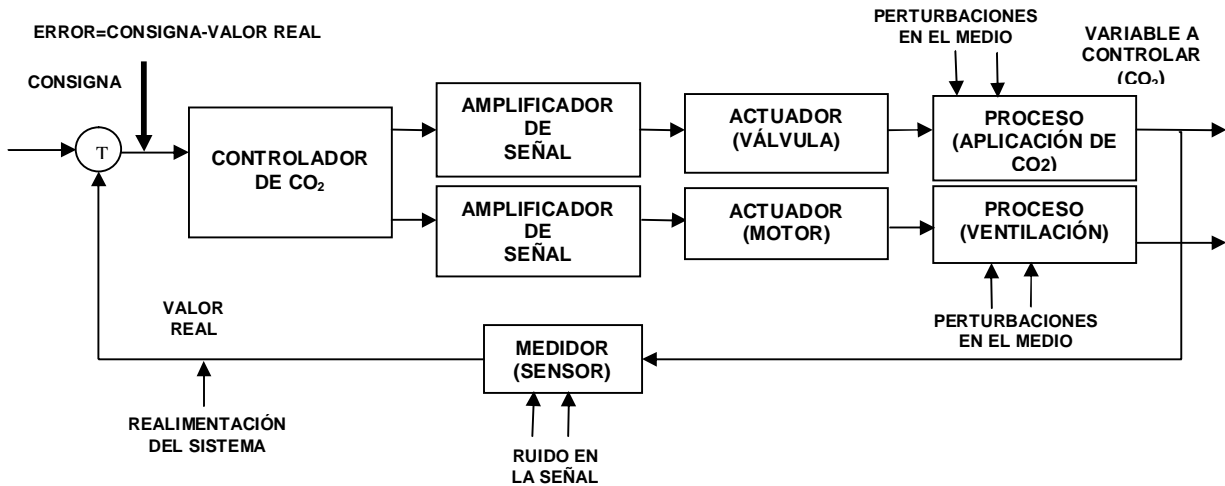


Figura 51. Sistema para el control de CO₂.

4.4.5.1.1 SENSORES DE CO₂.

Los nuevos dispositivos de los diferentes fabricantes son capaces de medir CO₂, temperatura y humedad relativa en un mismo punto.

La línea de Schneider Electric cuenta con una amplia gama de modelos, que fácilmente se adaptan a la agricultura, facilitando ampliamente el control de estas variables.

Los sensores permiten una tensión de entrada de 24 volts de corriente alterna (VAC) o de 20 a 36 volts de corriente continua (VDC) y disponen de tres salidas seleccionables, 0-5 volts, 0-10 volts o 4-20 miliamperios.

Los sensores SCD/SCR, usan la última tecnología de muestreo NDIR (Difusión Infrarroja No-Dispersiva) que proporciona tanto una excelente precisión como un buen cierre en el ajuste de la señal.

Estos sensores cuentan con una calibración automática de referencia. Esta función mantiene un registro de la lectura más baja de CO₂, asegurando su funcionamiento fuera de la caja y por encima del período de calibración automática. El nivel de CO₂ predeterminado también se puede ajustar mediante un relevador integrado, estableciendo el valor por medio de interruptores PID que pueden ser utilizados como alarmas (Figura 52).



Figura 52. Sensor de CO₂.

4.4.5.1.2 CONTROLADOR DE CO₂.

Los niveles de CO₂ alcanzados en el invernadero con calefacción de combustión directa, superaron las 5.500 ppm durante los períodos más fríos. De ahí que el uso de estos sistemas y de toda actividad dentro del invernadero deban estar condicionado a un control de los gases de combustión y a trabajar con regímenes de calor bajos o de mantenimiento, procurando ventilar o parar máquinas para evitar toxicidades a las personas y plantas.

El controlador para el CO₂ es un instrumento electrónico para la regulación, mando y automatización de procesos secuenciales o combinados, los cuales tienen la concentración de CO₂ como variable de control.

Estos controles están configurados para un sistema de control de lazo cerrado y están diseñados en la mayoría de los casos para trabajar independientes de una computadora, por lo que los hacen altamente versátiles, precisos, independientes y con una amplia aplicación a la automatización, al poder ser compatibles con un PLC haciéndolos más eficientes y precisos.

Al igual que el control de la humedad, se puede utilizar un control de procesos, el cual reciba una señal de 4-20mA o de 0-10 volts, para configurar el rango máximo y mínimo de CO₂ permitido dentro del invernadero.

4.4.5.1.3 ACTUADORES DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE CO₂.

Para el control de CO₂ dentro del invernadero se requiere que el controlador mande dos señales para procesos diferentes, una es para aplicar CO₂ y la otra es para sacar el excedente del invernadero.

Cuando el sensor detecta una deficiencia en la concentración de CO₂ manda una señal eléctrica a la válvula solenoide para abrir el sistema y liberar el CO₂ requerido para recuperar los niveles de CO₂ dentro del invernadero.

Por otro lado si el sensor detecta un exceso en la concentración del CO₂, la señal será enviada al actuador que se encargara de abrir las ventilas y a los ventiladores para cambiar el aire dentro del invernadero y de esta manera bajar los niveles de concentración del CO₂ (Figura 53).

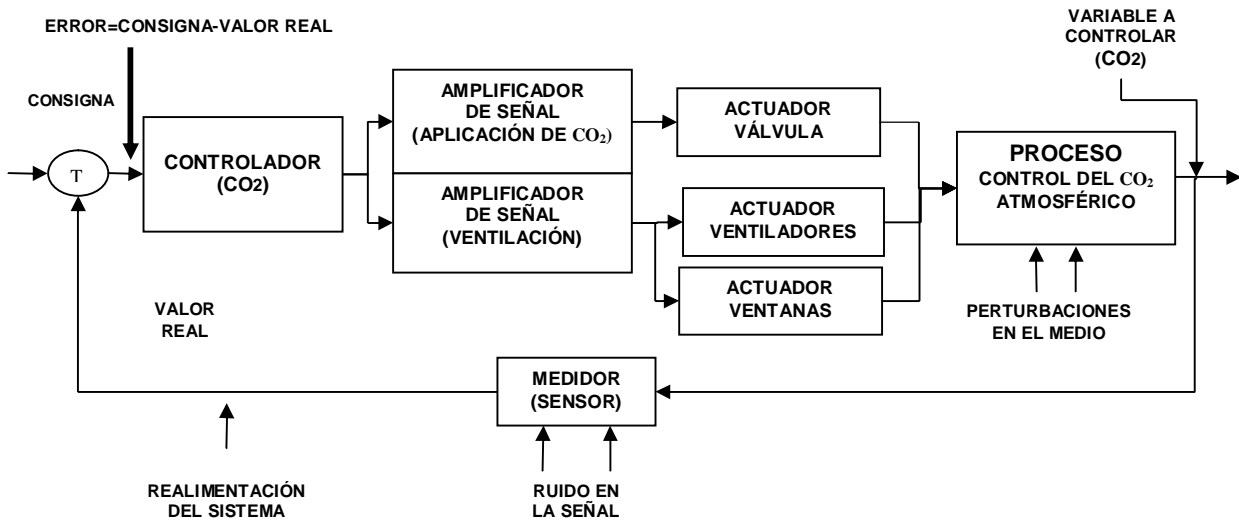


Figura 53. Sistema para el control del CO₂ atmosférico.

4.4.6 SISTEMA DE CONTROL INTEGRAL (PLC).

Este es el sistema más importante para el control de los factores que inciden en el desarrollo de las plantas dentro de los invernaderos con tecnología de alto nivel, debido a que no solo cuentan con relevadores de tiempo, fotoceldas, sensores de temperatura y humedad, sino que todos estos están integrados a un sistema que está soportado por Controles Lógicos Programables (PLC's) los cuales se encargan de ordenar toda la información que captan los sensores para procesarla y compararla con parámetros preestablecidos y poder ejecutar las consignas necesarias para su regulación, siendo este un sistema de control de lazo cerrado.

Un PLC (programmable logic controller) es un dispositivo electrónico de estado sólido diseñado para realizar funciones lógicas que anteriormente se realizaban con relevadores electromecánicos (Piedrafita, 2004).

Hoy en día, los PLC no solo controlan la lógica del funcionamiento de las máquinas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejando señales analógicas para realizar estrategias de control de tipo proporcional integral derivativo (PID).

Todos los sistemas de automatización con PLC, desde el más básico hasta el más sofisticado, están hoy en día adaptados para un amplio rango de tareas de automatización, cuyo objetivo es llevar a cabo un proceso de control altamente preciso y confiable, garantizando una producción de alta calidad.

4.4.6.1 PARTES DEL SISTEMA INTEGRADOR.

El sistema para en control integran de los factores que inciden en el desarrollo del cultivo dentro del invernadero, están compuestos por el PLC, los sensores, los controladores, los amplificadores de señal y los actuadores. Cada uno de estos, es tan importante como el otro ya que si uno de ellos no funciona de manera adecuada el sistema seria alterado de manera considerable provocando pérdidas en la producción (Figura 54).

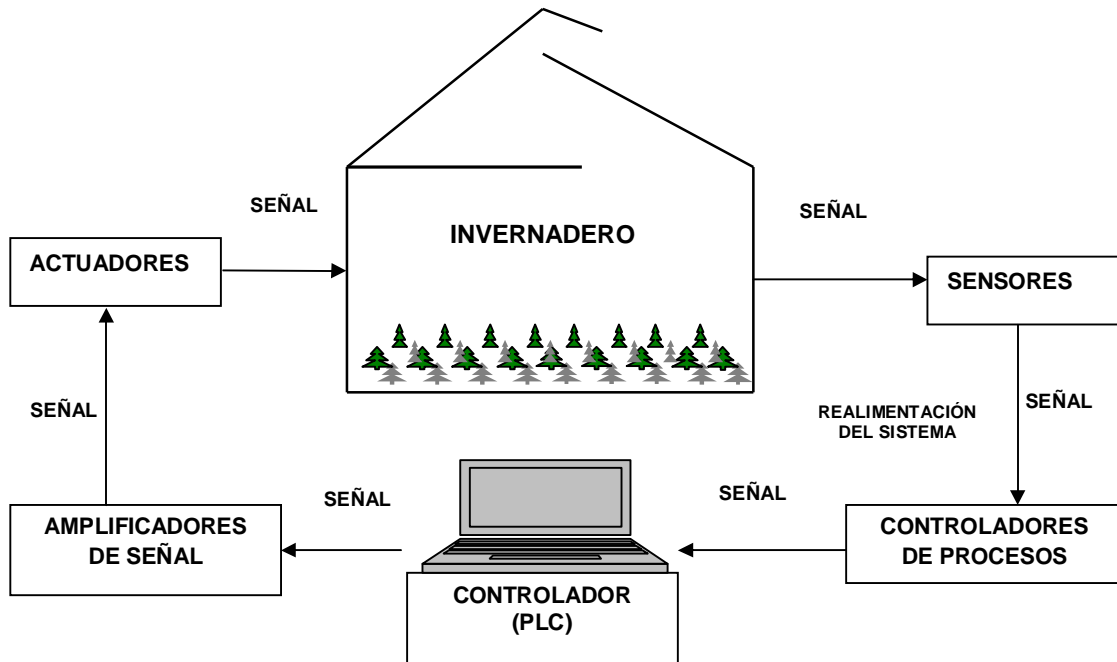


Figura 54. Sistema de control de lazo cerrado en un invernadero controlado por un PLC.

4.4.6.1.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).

En este caso pondremos como ejemplo al Controlador Lógico Programable Millennium 3 Mod. 88970161 de la marca Crouzet (Figura 55).

Este es un PLC compacto y de muy fácil programación lo que lo hace práctico para el control del invernadero, el PLC cuentan con:

- 16 entradas digítale (6 pueden ser analógicas) Las entradas analógicas pueden ser programadas de 0-10V o de 4-20mA.
- 10 salidas (de las cuales 8 son de 8A y 2 de 5A).

- Requiere de una alimentación de 24 volts de corriente directa (VDC).
- Un Display o Pantalla LCD de 4 líneas de 18 caracteres y retroiluminación controlable, en esta es posible visualizar los valores en proceso y los valores preestablecidos.
- Puede recibir módulos de expansión de 8 entradas digitales y 6 salidas 4 de 8 A y 2 de 5 A. Mas un modulo de expansión final de 6 entradas digitales y 4 salidas de 5 A teniendo un total de 40 entradas y 20 salidas.
- También cuenta con un modulo de comunicación XNO5 para la entrada de internet.
- Cuenta con aplicaciones GSM para recibir y mandar mensajes de texto de un celular, para poder conocer el estado del equipo, y poder recibir mensajes de alarma cuando el PLC detecte alguna falla que este fuera de su alcance de control y poder modificar los datos internos forzando las salidas del PLC desde un celular.
- Tiene dos tipos de lenguaje de programación: Lenguaje de Contactos (LD) y lenguaje de Diagrama de Bloques de Función (FBD)

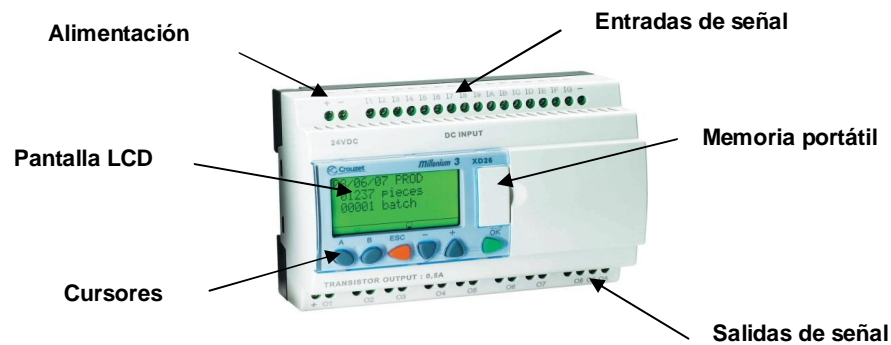


Figura 55. PLC Millenium 3
(www.crouzet.com.mx)

El lenguaje de contactos (LD) es un lenguaje gráfico que permite la transcripción de esquemas de relevadores adaptándose al procesamiento combinatorio. Presenta los símbolos gráficos básicos: contactos, bobinas, bloques, relevadores, temporizadores.

El Diagrama de Bloques de Función (FBD) permite una programación gráfica basada en la utilización de bloques funcionales predefinidos, presentado una amplia gama de funciones básicas: temporizadores, contadores progresivos, sensores, interruptores, micro switch, interruptores de limite.

Utilizando este tipo de comunicación, se permite hacer una programación gráfica basada en la utilización de bloques funcionales predefinidos, haciendo más práctico el manejo de este equipo (Figura 56).

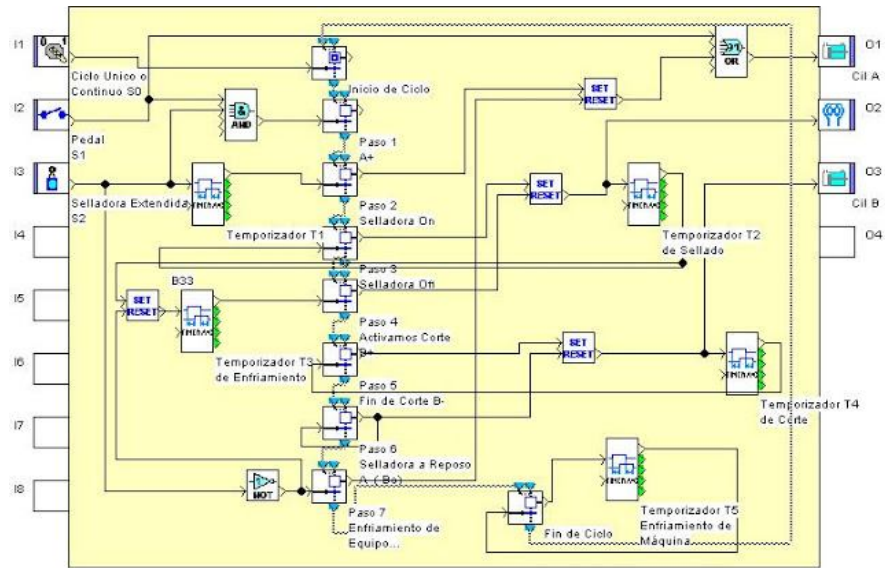


Figura 56. Diagrama de bloques de la función del PLC Millenium 3. (www.crouzet.com.mx)

El uso de un PLC con entradas análogas da dos ventajas importantes, por un lado permite, el uso de manera directa de sensores que den señales de 4-20mA o de 0-10V., procesándolas directamente y transformando esta señal eléctrica en una señal visible en la pantalla del equipo, y por otro lado recibir señales digitales (prendido o apagado), combinando el uso de sensores y controladores para las señales de entrada.

4.4.6.1.2 SENSORES DEL PLC.

El PLC millenium 3 cuenta con diferentes accesorios los cuales pueden ser instados directamente al equipo haciendo mas eficiente su uso.

Dentro de estos accesorios tenemos sensores de proceso para el control de la temperatura, humedad y concentración de CO₂. Estos sensores generan una señal de 4-20mA los cuales se instalan en las entradas análogas del PLC (Figura 57).

El PLC millenium3 al tener entradas análogas recibe señales de 4-20mA o de 0-10V. de casi cualquier tipo de sensor sin importar la marca o tipo, solo es necesario programar la función que esta procesando para que el equipo la pueda transformarla y poder ser administrada y controlada.



Figura 57. Sensores del PLC Millenium 3.
(www.crouzet.com.mx)

4.4.6.1.3 CONTROLADORES DEL SISTEMA INTEGRAL.

Debido a que el control climático de un invernadero se compone de varios lazos de control, se requiere de la administración de una gran cantidad de señales, es por esto que el principal controlador dentro de este sistema es el PLC que como ya lo hablamos anteriormente se encargara de administrar y controlar todas las señales.

Sin embargo es importante hacer mención que al tener entradas análogas y digitales en el PLC se pueden recibir señales tanto de sensores como de los controladores de proceso los cuales nos darán una señal fija (prendido o apagado).

En este sistema se puede hacer uso de los controladores que anteriormente se mencionaron para el control de la temperatura, humedad, luz y CO₂, los cuales serán administrados por el PLC para tener un control integral de todas las señales de los sensores, controladores.

4.4.6.1.4 AMPLIFICADORES DE SEÑAL DEL PLC.

Para activar un actuador se requiere de una señal del controlador (PLC) la cual tiene que ser amplificada utilizando relevadores, que son amplificadores de señal, los cuales cierran los circuitos para arrancar estos actuadores.

Dependiendo del tamaño del actuador que se requiera activar depende el tipo de amplificador que se tendrá que utilizar. Los relevadores son amplificadores de señales bajas, son para actuadores que requieren un máximo de 10 amps. de consumo. Mientras que para los actuadores grandes de alto consumo de corriente se requieren contactores, los cuales tienen capacidades muy altas para poder soportar cualquier actuador por grande que parezca (Figura 58).



Figura 58. Amplificadores de señal del PLC.

4.4.6.1.5 ACTUADORES DEL SISTEMA INTEGRAL.

Una vez que los controladores reciben las señales procedentes de los sensores que monitorean las variables, comprueban que éstas se encuentran en los límites permitidos para dar las órdenes oportunas a los actuadores para alcanzar el estado global deseado. Si una de las variables no se encuentra dentro del intervalo permitido dará la orden a los actuadores correspondientes para que actúen de manera inmediata corrigiendo la variable que se alteró (Figura 59).

Los actuadores son los dispositivos al que el controlador ordenará funcionar para mantener a las variables dentro de los límites deseados (calefacción, ventilación, riego, aplicación de CO₂, sombreado, prendido y apagado de luces).

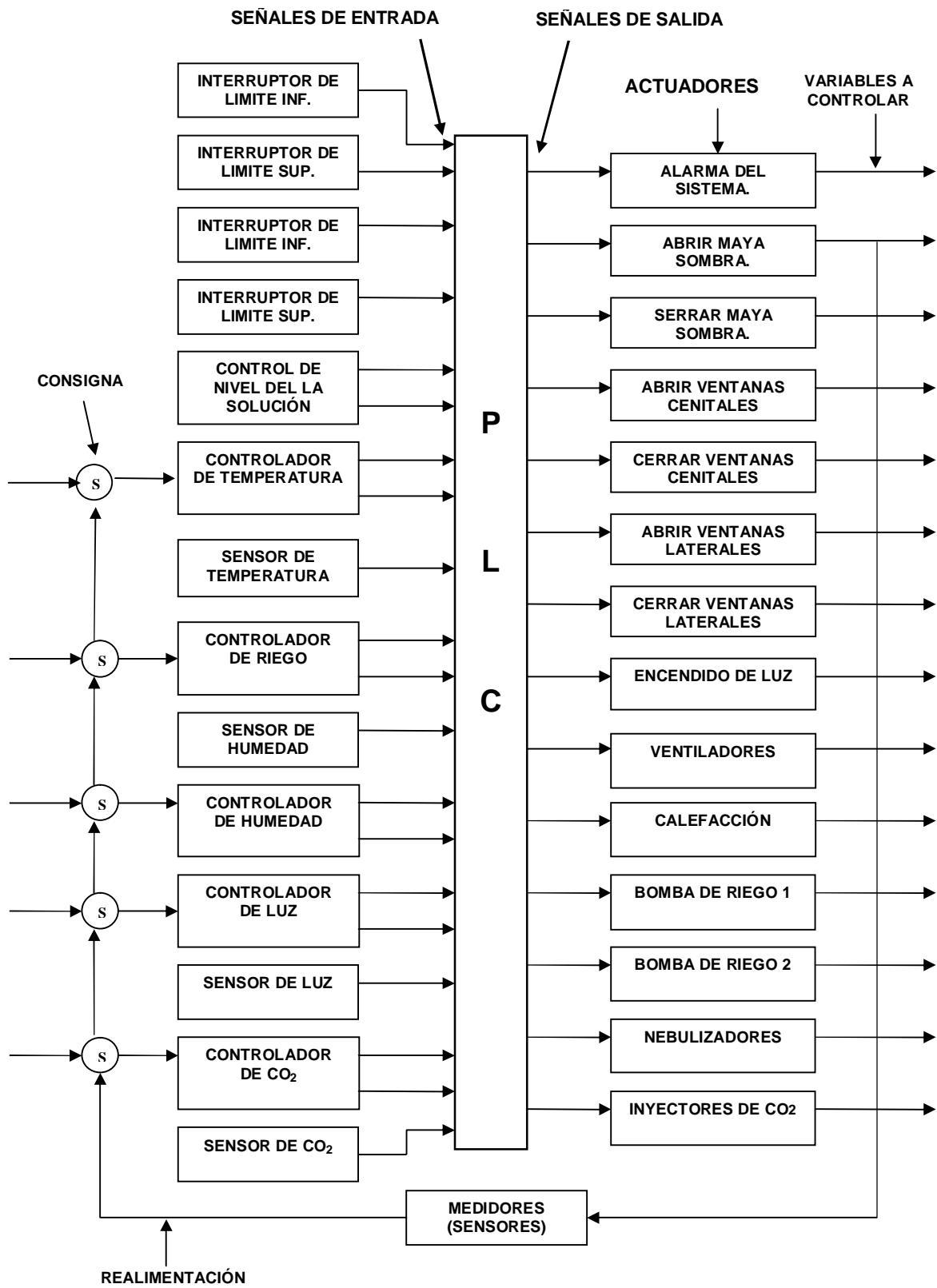


Figura 59. Sistema de automatización de un invernadero controlado por un PLC.

4.5 MANTENIMIENTO

La European Federation of National Maintenance Societies (1970) define el mantenimiento como: todas aquellas acciones llevadas a cabo para mantener los equipos o materiales en condiciones adecuadas a los procesos, para lograr estas condiciones es necesario realizar acciones de inspección, medición, ajustes, reemplazos y reparaciones necesarias para mantener una unidad funcional de forma que esta pueda cubrir sus funciones para las que fue diseñado (EFNMS, 1970).

Dependiendo de las condiciones en que se encuentren los equipos será el tipo de mantenimiento que se tenga que realizar, el cual se divide en dos partes, por un lado está el mantenimiento de conservación y por otro del de actualización (Figura 60).

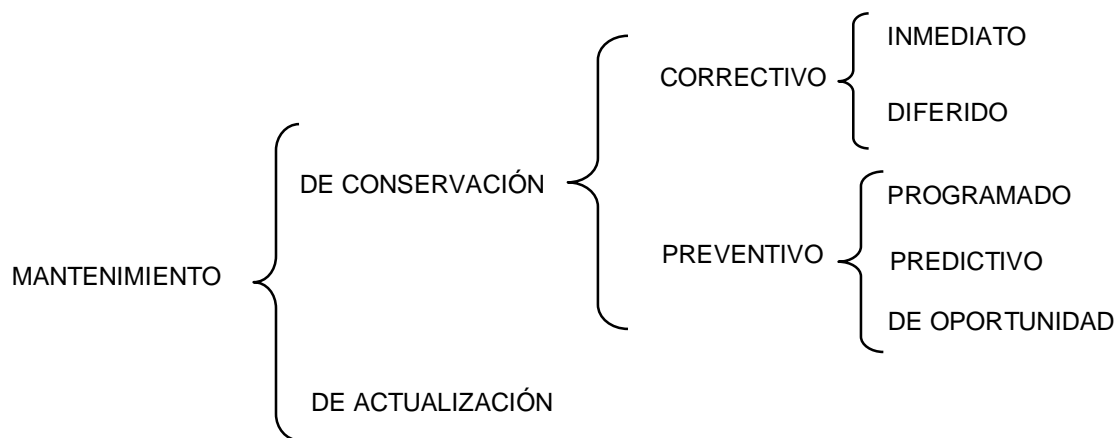


Figura 60. Diagrama de la configuración del mantenimiento.
(www.efnms.org)

El mantenimiento de conservación: es el destinado a la compensación del desgaste de los equipos sufrido por el uso, los agentes meteorológicos u otras causas que han generado una alteración en el funcionamiento y que pueden ser corregidos. Este tipo de mantenimiento está dividido en dos partes por un lado el correctivo y por el otro el preventivo.

Mantenimiento correctivo: es aquel que se realiza corrigiendo los defectos ocurridos y observado los equipos o instalaciones durante el proceso de producción, para realizar la acción inmediata del mantenimiento al momento que surge una avería o defecto, reparándola antes de que provoque una falla mayor que pueda parar el funcionamiento del sistema. Este mantenimiento se conforma de dos partes, uno es el mantenimiento inmediato y el diferido.

El mantenimiento correctivo inmediato: es el que se realiza inmediatamente que se presenta la falla, sin dejar pasar tiempo porque podría provocarnos daños al sistema y a la producción de manera prácticamente inmediata. Un ejemplo de esto sería la válvula solenoide del riego que si no abre en el momento que recibe la señal del controlador, se tendría que hacer el cambio de manera inmediata.

El mantenimiento correctivo diferido: es el que se programa después de ser detectada la falla, esto quiere decir que la falla no requiere de parar todo el sistema de manera inmediata pero si podría dar margen para poder hacer una programación del mantenimiento. Un ejemplo sería la bomba del riego que requiera de mantenimiento en los valores por el uso.

El mantenimiento preventivo: es el destinado a garantizar el buen funcionamiento de los equipos, mediante un seguimiento programado, basado en que todos los equipos darán un tipo de aviso antes de que se presente la falla y este mantenimiento tiene como objetivo tratar de prolongar la vida útil de los equipos, verificando los síntomas antes de que se presente las fallas y poder tomar las decisiones de reparación o cambios antes de que ocurra la falla. Este mantenimiento tiene tres formas para poderse realizar, el programado, el predictivo y el oportuno.

El mantenimiento programado: es el que se realiza siguiendo los programas de servicio, por tiempo de trabajo de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Un ejemplo es la faldera, al cual requiere de un mantenimiento recomendado por el fabricante.

El mantenimiento predictivo: es el que se realiza prediciendo el momento que el equipo quedara fuera de servicio al llegar al límite de su vida útil recomendada por el fabricante. Un ejemplo claro de esto es el uso de las baterías de respaldo que usan los PLC, las cuales se tienen que cambiar en el tiempo que el fabricante recomienda para no tener pérdida de la información por falta de energía.

El mantenimiento de oportunidad: se realiza aprovechando las paradas o periodos de descanso de ciertos equipos para realizar operaciones de mantenimiento, realizando las revisiones o reparaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos en el nuevo periodo de su uso. El sistema de calefacción que se usa dentro del invernadero requiere de un mantenimiento previo a su periodo de uso para garantizar que funcione en el momento que se requiere.

El mantenimiento de actualización: tiene el propósito de compensar la obsolescencia de los equipos que por su grado de uso o nivel de tecnología han quedado fuera de servicio, procurando introducir las mejores alternativas que el mercado nos ofrece. Los PLC día con día están en constante movimiento tecnológico ofreciendo más y mejores funciones de control (EFNMS, 1970).

Todos los diferentes tipos de mantenimientos son importantes porque dentro del invernadero cada equipo requiere de una supervisión diferente debido a su uso o diseño de fabricación, lo cual nos obliga a tener conocimiento más específicos del tipo y frecuencia de mantenimiento que se requiere hacer para que nuestros equipos tengan un buen funcionamiento y una larga vida útil.

Como hemos estado hablando anteriormente los sistemas de control se manejan por medio de señales, estas son generadas por los sensores, los cuales las transmiten a los controladores y ellos a los amplificadores de señal, los cuales serán los encargados de activar los actuadores que se encargaran de corregir las variables.

Es recomendable hacer un recorrido de reconocimiento en todas las instalaciones del invernadero, para saber cómo está compuesto el sistema de control, y de esta manera poder identificar cada uno de los diferentes subsistemas de los que está compuesto el sistema de control integral, con esto podremos identificar cuáles son los flujos de las diferentes señales que se están manejando.

Siempre que se inician las actividades dentro del invernadero para la implementación de un cultivo, se realiza un calendario de actividades que se tendrán que realizar durante todo el ciclo del cultivo, con el objetivo de generar todas las condiciones favorables para su buen desarrollo, tanto atmosféricas como nutritivas. Es en este momento en el que también se tiene que hacer un programa de mantenimiento y supervisión del sistema de control automatizado, para poder asegurar que el buen funcionamiento del sistema y poder identificar las posibles fallas que pudieran presentarse durante todo el ciclo.

V. METODOLOGÍA.

La metodología para el desarrollo del presente trabajo sigue la siguiente ruta:

1. Identificación de los componente que integra el sistema de automatización de un invernadero, en este apartado se realizó la caracterización de los instrumentos básicos del sistema, comenzando con los sensores, controladores, amplificadores de señal, actuadores y finalmente con la descripción del sistema integrador que es el PLC. La descripción se basó en los componentes de un sistema altamente automatizado, de acuerdo a la clasificación del nivel tecnológico de 2000agro, 2006
2. Se construyó el diagrama de flujo que permitieran realizar un seguimiento puntual de cada sistema.
3. Se hizo el diagrama del modelo de PLC externo, que es el que el operador observa, y se diseñó el diagrama interno de conexiones para tener el modelo de funcionamiento del sistema integrador. El modelo del PLC corresponde a un Millenium 3 de la marca Crouzet, el cual se programó usado un diagrama de bloques de función (FBD), que permitió hacer una programación grafica basada en la utilización de bloques funcionales predeterminados.
4. Se ensambló el PLC de acuerdo al diagrama elaborado y se puso en funcionamiento, para observar e identificar las posibles fallas del sistema, haciendo uso del simulador con el que cuenta el equipo.
5. Se identificaron los puntos claves de revisión para el funcionamiento óptimo del sistema, para lo que se realizaron los siguientes pasos:
 - a) Descripción del funcionamiento en específico de los componentes del sistema del modelo empleado.
 - b) Obtención de manuales de equipos instalados.
 - c) Revisión de los sistemas de automatización de tres invernaderos altamente tecnificados y en producción en el Estado de México.
6. Se elaboró una bitácora de campo para dar seguimiento a las actividades relacionadas con el mantenimiento de los equipos, de acuerdo a la periodicidad requerida por el sistema.

VI. PROTOCOLO GENERAL DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL INVERNADERO.

En base al análisis de falla de los sistemas, se presentan los protocolos de mantenimiento, de acuerdo al momento en el que se deben realizar las acciones necesarias para mantener en condiciones óptimas el funcionamiento del sistema automatizado, antes de que pueda producirse algún error de funcionamiento, de acuerdo al diagrama de verificación de mantenimiento que se presenta a continuación en la Figura 61. y a los diagramas del sistema de control y bloques del PLC en las Figuras 62 y 63.

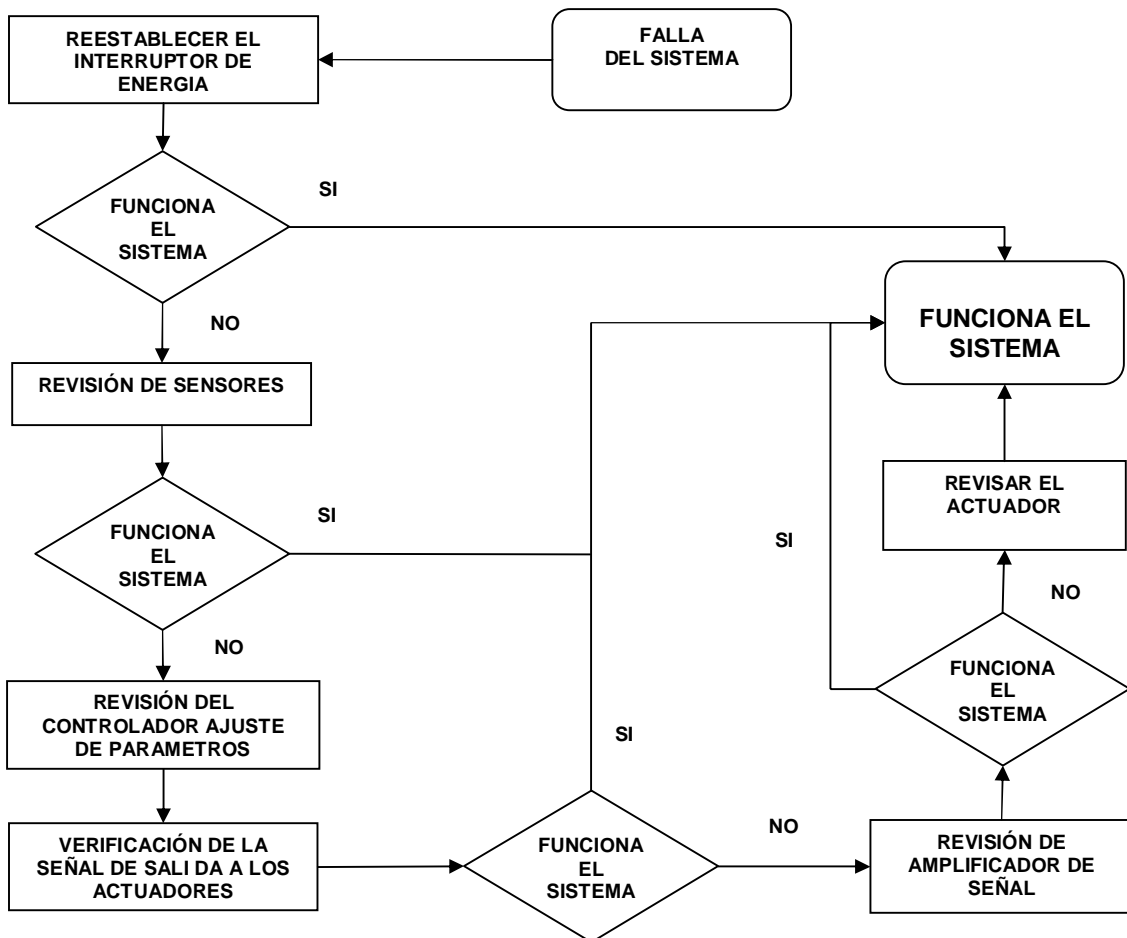


Figura 61. Diagrama de flujo. Verificación del sistema automatizado.

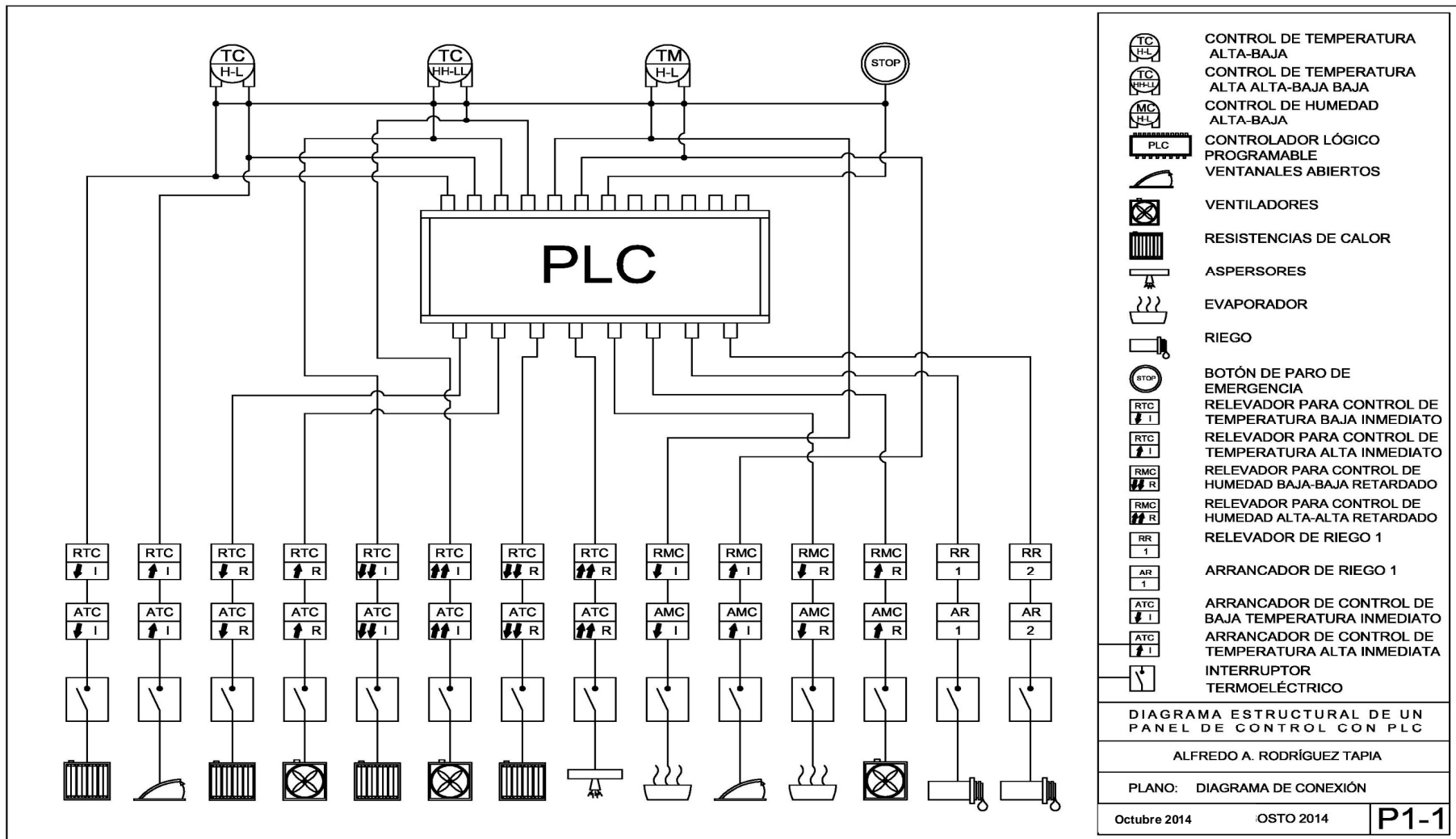


Figura.62 Diagrama estructural de un panel de control con PLC

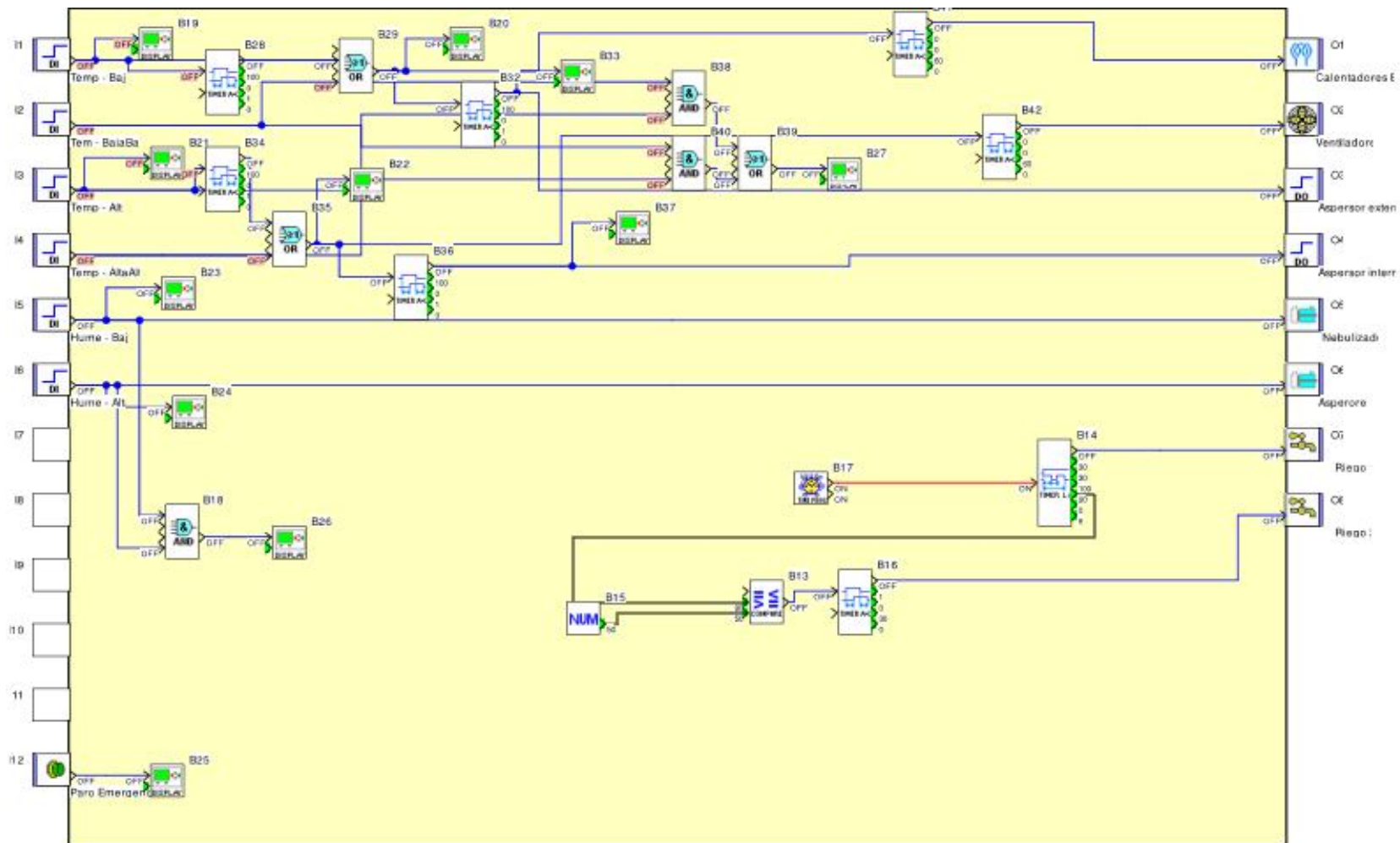


Figura.63 Diagrama de bloques de la función del programa

SEMANAL.

Hay que destinar un día de la semana para hacer un recorrido por el invernadero, revisando el funcionamiento de las partes del sistema más usadas durante la semana. Este tipo de mantenimiento es solo de supervisión, para verificar que los sistemas que estén trabajando, lo hagan correctamente, y en caso de encontrar algún problema, se podrá hacer la reparación de manera inmediata o programarlo para el servicio más inmediato (Cuadro 8).

Cuadro 8. Mantenimiento semanal

TEMPERATURA	<ul style="list-style-type: none">• Hacer ajuste de los diferentes sensores y actuadores.• Verificar que las ventanas abran y cierren sin ningún problema en los parámetros programados.• Revisar que al subir y bajar las cortinas se haga de una manera uniforme a las distancias previamente determinadas, para evitar que se deformen.• Verificar que los ventiladores o extractores de aire se accionen en los límites máximos permitidos y que no tengan ningún ruido extraño que pudiera indicarnos que tiene alguna falla.• El sistema de calefacción tiene que estar listo para actuar en el momento que los controladores lo indiquen.
RIEGO	<ul style="list-style-type: none">• Verificar que los sensores estén instalados correctamente.• Hacer los ajustes necesarios al sistema de riego dependiendo de las necesidades del cultivo.• La bomba de riego tiene que estar purgada y libre de cualquier ruido extraño.• La válvula solenoide tiene que abrir y cerrar sin problemas.
HUMEDAD RELATIVA.	<ul style="list-style-type: none">• Los nebulizadores o aspersores tienen que activarse en el momento que indique el controlador• La válvula solenoide tiene que abrir y cerrar sin problemas.
ILUMINACIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Verificar que la malla sombra se extienda y se enrolle correctamente
CONCENTRACIÓN DE CO ₂	<ul style="list-style-type: none">• Verificar que las concentraciones de CO₂ estén dentro de los parámetros establecidos.• La válvula solenoide tiene que abrir y cerrar sin problemas.

MENSUAL.

Dentro de este mantenimiento intervienen actividades programadas durante las revisiones semanales y las programadas por parte del fabricante de los diferentes equipos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Mantenimiento mensual.

TEMPERATURA	<ul style="list-style-type: none">• Hacer el ajuste del recorrido de las cortinas para la ventilación, ajustando los tiempos.• Hacer limpieza de los generadores de calor, para evitar la acumulación de residuos que pudieran afectar su funcionamiento.
RIEGO	<ul style="list-style-type: none">• Verificar que los sensores estén limpios de cualquier impureza que pudiera alterar el funcionamiento.• Hacer un drenado del sistema de riego para evitar la acumulación de sales que pudieran tapan el sistema de riego.
HUMEDAD RELATIVA.	<ul style="list-style-type: none">• El controlador de humedad relativa tiene que estar calibrado en los parámetros que se requieren.• Los nebulizadores o aspersores tienen que activarse en el momento que indique el controlador.• La válvula solenoide tiene que abrir y cerrar sin problemas.
ILUMINACIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Limpieza del sensor de luz.• Ajuste del recorrido de la malla sombra.• Verificación de los interruptores de limite.
CONCENTRACIÓN DE CO ₂	<ul style="list-style-type: none">• Ajuste del controlador.• Verificar los niveles de CO₂ en el depósito.• La válvula solenoide tiene que abrir y cerrar sin problemas.

SEMESTRAL.

Dentro del mantenimiento semestral se realizan las actividades programadas por parte del fabricante de los diferentes equipos, y todas aquellas actividades que puedan surgir durante el proceso de producción, para lo cual hay que considerar en su totalidad todas las funciones que realiza cada uno de los sistemas (Cuadro 10).

Cuadro. 10 Mantenimiento semestral

TEMPERATURA	<ul style="list-style-type: none">• Revisión de los sensores.• Calibración del controlador.• Limpieza del panel de control.• Revisión del sistema de ventilación.• Revisión del sistema de calefacción.• Hacer funcionar en su totalidad el sistema.
RIEGO	<ul style="list-style-type: none">• Limpieza de sensores.• Calibración del controlador.• Revisión de la motobomba.• Hacer funcionar en su totalidad el sistema.
HUMEDAD RELATIVA.	<ul style="list-style-type: none">• Limpieza de sensores.• Calibración del controlador.• Limpieza de aspersores y nebulizadores.• Hacer funcionar en su totalidad el sistema.
ILUMINACIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Limpieza de sensores de luz.• Calibración del controlador.• Ajuste de las mallas sombra.• Verificación de los interruptores de límite.• Hacer funcionar en su totalidad el sistema.
CONCENTRACIÓN DE CO ₂	<ul style="list-style-type: none">• Calibración del controlador• Verificación de los niveles de concentración de CO₂ en los depósitos.• Hacer funcionar en su totalidad el sistema.

ANUAL O DE INICIO DE CICLO.

Este es el mantenimiento mas importante en el cual debe tenerse mayor interés y cuidado, debido a que es en este momento en el que se lleva a cabo el mantenimiento general de todos y cada uno de los sistemas que controlan el invernadero.

Todos los sistemas se tienen que limpiar, lubricar (según será el caso), calibrar y poner en marcha para garantizar su buen funcionamiento, de tal manera que estén listos para entrar en función en cuanto de inicio el ciclo del cultivo que se vaya a trabajar (Cuadro 11).

Cuadro 11. Mantenimiento anual

TEMPERATURA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar los sensores, cuidando que trabajen correctamente mandando la señal al controlador. • Verificar que el controlador este calibrado a los límites máximos y mínimos que requiere el cultivo que se vaya a trabajar. • Verificar que las señales que genera el controlador lleguen adecuadamente a los amplificadores de señal y estos activen los actuadores. • Calibrar el recorrido de las cortinas para la ventilación, ajustando los tiempos. • Verificar el funcionamiento de los interruptores finales de carrera que limitan el recorrido de las cortinas, para tener la seguridad de que las cortinas no se desplazarán más de la cuenta. • Verificar los ventiladores y darles el servicio necesario. • Hacer limpieza de los generadores de calor, para evitar la acumulación de residuos que pudieran afectar su funcionamiento. • Hacer funcionar en su totalidad el sistema.
RIEGO	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que los sensores estén limpios y que trabajen correctamente mandando la señal al controlador. • Verificar que el controlador este calibrado a los límites máximos y mínimos que requiere el cultivo que se vaya a trabajar. • Verificar que las señales que genera el controlador lleguen adecuadamente a los amplificadores de señal y estos activen los actuadores. • Revisión de la motobomba. • Hacer funcionar en su totalidad el sistema.
HUMEDAD RELATIVA.	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que los sensores estén limpios y que trabajen correctamente mandando la señal al controlador. • Verificar que el controlador este calibrado a los límites máximos y mínimos que requiere el cultivo que se vaya a trabajar. • Verificar que las señales que genera el controlador lleguen adecuadamente a los amplificadores de señal y estos activen los actuadores. • Limpieza del sistema. • Hacer funcionar en su totalidad el sistema.
ILUMINACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que los sensores estén limpios y que trabajen correctamente mandando la señal al controlador. • Verificar que el controlador este calibrado a los límites máximos y mínimos que requiere el cultivo que se vaya a trabajar. • Verificar el funcionamiento del actuador. • Hacer funcionar en su totalidad el sistema.
CONCENTRACIÓN DE CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar los sensores estén limpios y que trabajen correctamente mandando la señal al controlador. • Verificación de los niveles de concentración de CO₂ en los depósitos. • Hacer funcionar en su totalidad el sistema.

Para realizar la verificación de los sistemas de control, deben considerarse las siguientes especificaciones:

6.1 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA.

El mantenimiento del sistema para el control de la temperatura, es muy amplio ya que requiere de mucha atención, por la importancia que representa el control adecuado y preciso de la temperatura; es por esto que se requieren conocer los puntos básicos, tanto de sensores, controladores, amplificadores de señal y actuadores.

6.1.1 SENSORES DE TEMPERATURA.

La mayoría de los problemas de medición con los sensores se deben a la falta de conocimientos sobre su funcionamiento.

PROBLEMAS DE CONEXIÓN.

La mayoría de los errores de medición son causados por uniones no intencionales del sensor. Se debe tener en cuenta que cualquier contacto entre dos metales distintos creará una unión. Si lo que se desea es aumentar la longitud de los sensores, se debe usar el tipo correcto del cable de extensión. Por ejemplo, el tipo J corresponde al termopar J (hierro-constantan). Cualquiera que sea el conector empleado debe estar hecho del mismo material del termopar. Su polaridad debe ser la adecuada, todos los sensores tienen una polaridad, si al conectarlo nos da una lectura errónea es recomendable cambiar la polaridad de la conexión para que se corrija la señal. Lo correcto es emplear conectores comerciales del mismo tipo que el termopar para evitar problemas.

DESCALIBRACIÓN.

La descalibración es la alteración accidental de la conformación del cable del sensor o termopar. La causa más común es la difusión de partículas atmosféricas en el metal donde está la unión del sensor que mide la temperatura de operación, hay que limpiar las puntas del sensor de cualquier impureza. Otras causas son las impurezas y los compuestos químicos del aislante que se pueden difundir en el cable del termopar, cuando esto pasa es recomendable cambiar la sonda.

RUIDO.

La salida de un termopar es una pequeña señal, así que es susceptible de error por ruido eléctrico. La mayoría de los instrumentos de medición rechazan cualquier modo de ruido (señales que están en el mismo cable o en ambos) así que el ruido puede ser minimizado al retorcer los cables para asegurarse que ambos recogen la misma señal de ruido. Si se opera

en un ambiente extremadamente ruidoso, (cerca de un motor), es necesario considerar usar un cable de extensión blindado o protegido con malla de acero inoxidable. Si se sospecha de la recepción de ruido, primero se deben de apagar todos los equipos sospechosos de generar este ruido y comprobar si las lecturas cambian. Sin embargo, la solución más lógica es diseñar un filtro (resistencia y condensador en serie) ya que es probable que la frecuencia del ruido del motor sea mucho mayor a la frecuencia con que oscila la temperatura.

VOLTAJE FLOTANTE.

Aunque las señales del termopar son muy pequeñas, a la salida del instrumento de medición pueden aparecer voltajes mayores. Estos voltajes pueden ser causados por las uniones a conexiones terrestres. Hay que revisar toda la extensión de la sonda del sensor que pudiera estar trozado y este haciendo contacto con otro metal, el cual estaría mandando una señal de voltaje incorrecta. Si existe alguna conexión terrestre pueden existir algunos voltios entre el tubo y la tierra del instrumento de medición.

DESVIACIÓN TÉRMICA.

La punta del sensor tiene que estar perfectamente colocada en el lugar que se desea estar monitoreando, el sensor no tiene que estar tocando ninguna superficie si lo que se desea es monitorear la temperatura ambiente, si por alguna razón el sensor está tocando alguna superficie, la señal que genere el sensor, tendrá una desviación térmica debido a que la superficie con la que este en contacto nos modificara la señal.

Para tener un buen funcionamiento de los sensores es recomendable hacer una revisión programada para evitar errores durante la producción. Hacer una revisión de los sensores de manera preventiva, programando el servicio de mantenimiento cuando menos cada seis meses, logrando con esto tener en buenas condiciones los equipos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Precauciones y consideraciones al usar sensores de temperatura.

TIPO DE PROBLEMA	FALLA QUE PRESENTA	RECOMENDACIÓN
La lectura que da el controlador no es correcta después de poner una extensión a la sonda.	Problemas de conexión	-Las extensiones tienen que ser del mismo material del que está fabricado el sensor. -Todos los sensores tienen polaridad, hay que tener cuidado de conectarlos correctamente, si la lectura es errónea, cambiar la polaridad.
El sensor sin motivo alguno da lecturas incorrectas de manera gradual.	Descalibración	-Hay que revisar la punta del sensor regularmente se llenan de impurezas al estar en un medio extremo, hay que limpiarla con regularidad. -Es recomendable revisar todo el cableado de la sonda, es probable que durante el recorrido este dañado por la corrosión, es recomendable cambiar el sensor.

Cuando se activa el riego la señal que llega al controlador de la temperatura se altera.	Ruido.	Es muy probable que a la sonda del sensor le esté entrando ruido del motor, hay que procurar que no pase por ningún motor. -Usar un sensor que tenga un forro de malla de acero inoxidable para evitar la entrada del ruido.
La temperatura se dispara sin razón alguna.	Voltaje flotante.	-El sensor genera un voltaje muy pequeño, pero si en alguna parte del recorrido esta trozado y hace contacto con la tubería, la cual podría tener un voltaje aterrizado, este estaría creando problemas, lo recomendable es cambiarlo.
El controlador está recibiendo una señal que no corresponde a la temperatura que existe dentro del invernadero.	Desviación térmica.	-Es común que la punta de sensor este haciendo contacto con alguna otra superficie ajena al ambiente que esta monitoreando, lo recomendable es verificar que no esté haciendo contacto con nada.

6.1.2 CONTROL DE TEMPERATURA.

En la actualidad los controladores de temperatura son electrónicos, fabricados con componentes hechos con la llamada tecnología de superficie, para lo que se requiere de personal especializado para poder darle servicio; sin embargo, es importante conocer los errores que pudieran llegar a presentarse y las posibles correcciones que se tendrían que hacer para mantener en buen funcionamiento los controladores (Cuadro 13).

LA LECTURA DEL CONTROL ES INCORRECTA.

Una de las fallas más comunes que puedan presentar los controladores, es que el control nos reporte una lectura que no corresponde a la existente en el medio ambiente.

Para verificar que un control funciona correctamente, es necesario hacer un corto o puente en la entrada del sensor, con esto el instrumento deberá marcar la temperatura ambiente (T_a), si la temperatura que indica no corresponde a la temperatura ambiente se tendrá que hacer el cambio del control para hacerle un revisión más detallada en un laboratorio de pruebas más completo para su reparación. Si la temperatura que nos reporta al hacer la prueba, corresponde a la temperatura ambiente eso quiere decir que el sensor está dañado y se requiere cambiarlo.

NO CONTROLA LA TEMPERATURA.

Otra de las fallas más comunes, es cuando el controlador no manda la señal de corrección cuando la temperatura se ha salido de los límites permitidos, esto es por una falla interna en el control provocada por los relevadores o triacs de salida, los cuales no hacen el cambio del platino interno.

Otra posible causa podría ser, que el equipo este descalibrado o desprogramado, esto es provocado por una mala manipulación del equipo por parte del operador o responsable del invernadero, es por esta razón que se requiere que sólo el personal calificado sea el encargado de manipular los equipos.

Cuadro 13. Recomendaciones para identificar la falla del controlador de temperatura.

TIPO DE PROBLEMA	FALLA QUE PRESENTA	RECOMENDACIÓN
El controlador no prende.	No controla la temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar que al control llegue la corriente suficiente para que pueda prender el equipo. - Verificar que las conexiones estén bien apretadas para evitar un falso contacto.
La temperatura que indica el control no es correcta.	No controla la temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar que el sensor sea el correcto y que este bien conectado. - Hacer un puente en la entrada del sensor, el control tiene que dar la temperatura ambiente, si no lo hace hay que cambiar el sensor. - Si cambiamos el sensor y no se corrige el problema será necesario enviar el control a laboratorio para que realicen su reparación.
No manda la señal a los actuadores cuando sale de los límites programados.	No controla la temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> - El equipo esta desprogramado, se desactivaron las alarmas de salidas, hay que reprogramarlo. - Hay que verificar que el control este mandando la señal a los actuadores y que la señal este llegando al actuador.

6.1.3 AMPLIFICADORES DE SEÑAL.

Como ya se indico anteriormente, todos los controladores tienen salidas de señal con capacidad de carga muy baja, por lo cual se requiere de ser amplificada por relevadores, contactores o arrancadores, los cuales tienen capacidades de carga lo suficientemente grandes para poder hacer funcionar cualquier actuador por grande que parezca.

Todos los amplificadores de señal de cualquiera que sea el sistema de control, requieren de una supervisión periódica para que puedan funcionar de manera correcta, dependiendo del tipo de amplificador, depende el tipo de servicio que se tendría que hacer ya sea para relevadores, contactores o arrancadores.

RELEVADORES.

Hay dos tipos de relevadores que se pueden usar dentro de un panel de control, los electromecánicos y los electrónicos o de estado sólido.

Los relevadores electromecánicos funcionan por medio de una bobina, la cual forma un campo magnético abriendo y cerrando los platinos que mandaran la señal amplificada a los contactores o actuadores (Figura 64).

La falla más común de estos relevadores es cuando no le llega la señal a la bobina o ésta se daña quedando inservible, provocando la pérdida de la continuidad de la señal, regularmente este tipo de relevadores consta de un mecanismo manual para hacerlo funcionar sin necesidad de la energía en la bobina, de esta manera se puede accionar el relevador para hacer el cambio de los platinos y verificar el paso de la señal hacia los actuadores, verificando el funcionamiento de la bobina.

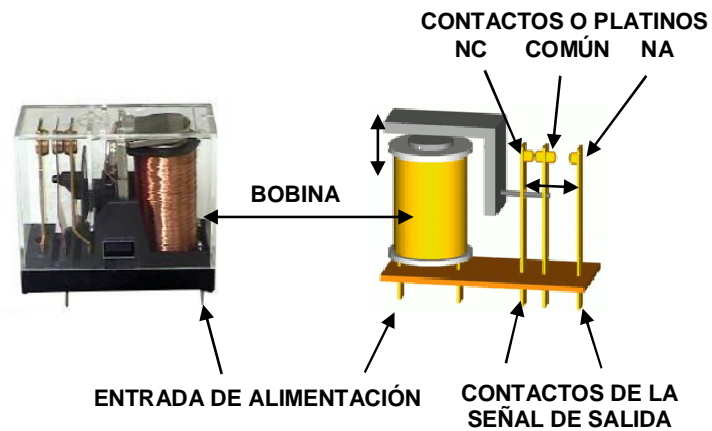


Figura 64. Relevador electromecánico.

Los relevadores de estado sólido, son relevadores electrónicos que en lugar de tener platinos para mandar la señal de mando a los actuadores lo hace por medio de triacs, este tipo de relevadores tienen la cualidad de soportar cargas de corriente mucho mayores que los relevadores electromecánicos, las cuales van desde los 10A hasta los 100A, o más (Figura 65).

Hay relevadores de 1, 2 y 3 polos, los más comunes de usar son los de 1 polo por su costo y espacio. Al igual que todos los relevadores funcionan por medio de una señal del controlador hacia una bobina interna, la cual se encargará de realizar la conmutación en el triac para hacer el paso de la corriente.

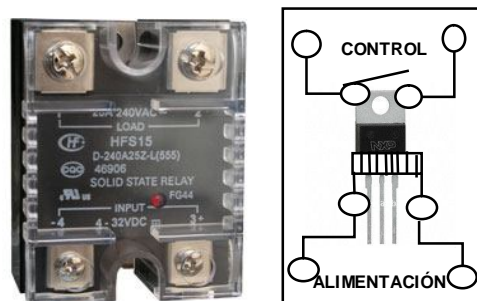


Figura 65. Relevador de estado sólido.

El principal problema con este tipo de relevadores, es que son electrónicos y su instalación requiere de un personal calificado, ya que por ser electrónicos su manejo es más delicado, es muy común que estos relevadores se calienten demasiado debido a la alta cantidad de corriente que manejan, por esta razón es recomendable instalarles disipadores de calor, los cuales tienen que llevar una grasa de silicón entre el relevador y el disipador para que de esta manera el calor que genera el relevador pueda ser transmitido al disipador evitando el sobrecalentamiento.

CONTACTORES.

Los contactores son los amplificadores de señal más grandes que se pueden encontrar para la activación de los actuadores, al igual que los relevadores funcionan por medio de la señal que los controladores mandan a la bobina, accionando el núcleo magnético el cual contrae el muelle o resorte que acciona el cierre de los platinos permitiendo el paso de la corriente hacia los actuadores (Figura 66).

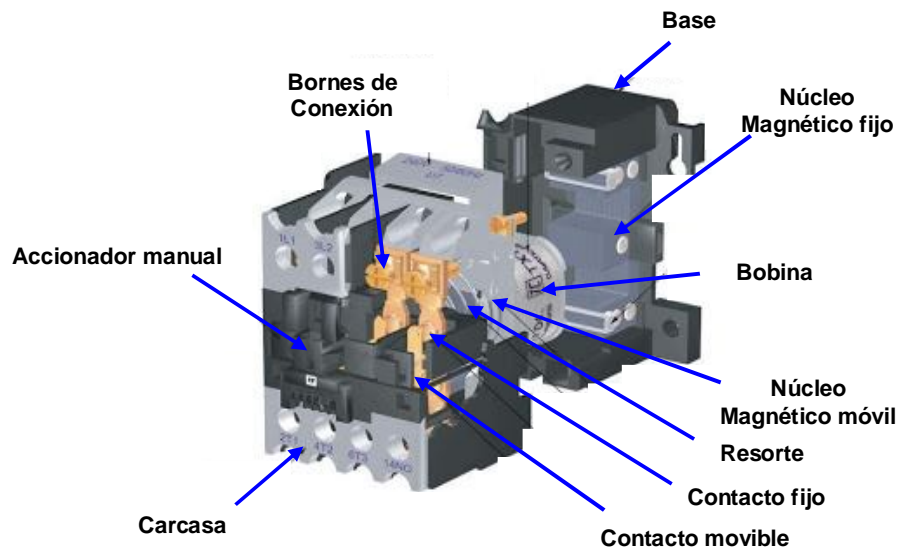


Figura 66. Vista interna de un contactor.

Los amplificadores de señal son accionados por una señal eléctrica a una bobina magnética que regularmente suele fallar, por esto es recomendable revisar que la bobina este recibiendo la señal del controlador. A diferencia de los relevadores si la bobina se daña esta se puede cambiar por otra que este en buen estado para que pueda continuar trabajando.

Otra de las fallas en un contactor, se da cuando los platinos o contactos se quedan cerrados permanentemente sin hacer el cambio de posición al interrumpir la señal del controlador. Esto se debe a que los contactos se han quedado pegados por el corto que se genera al momento de cerrarse, provocando que los platinos se queden pegados, tanto el fijo como el móvil. Cuando esto sucede, hay que apagar el equipo para cortar el paso de la corriente y hacer el cambio del contactor.

Es muy común que los contactores cuando tienen mucho tiempo de estar trabajando tengan problemas de vibración cuando son accionados, esto es debido a que el núcleo magnético ha tenido un desgaste y es recomendable cambiarlo para evitar que los platinos hagan falso contacto provocando el calentamiento y la posible fusión de los platinos provocando un daño mayor.

ARRANCADORES.

Un arrancador es igual al contactor, solo que éste está acompañado de un relevador bimetalico, el cual interrumpe el paso de la señal de carga al actuador cuando el consumo de amperaje se eleva, provocando que el bimetalico se dispare interrumpiendo la señal al motor evitando que se caliente y pueda quemarse provocando un daño mayor. Cuando el relevador se dispara para interrumpir el paso de la corriente se tiene que restablecer el relevador bimetalico pulsando el botón restablecedor que se encuentra en la parte superior, asegurándonos de que el bimetalico este bien calibrado al amperaje requerido. Si el relevador se dispara constantemente y no responde cuando se restablece, es recomendable hacer el cambio de este equipo para evitar esta falla (Figura 67)



Figura 67. Relevador bimetalico.
(www.siemens.com)

Los amplificadores de señal requieren de un mantenimiento preventivo programado cuando menos una vez al año, revisando todas las conexiones que no estén flojas, tanto las bobinas como las de los contactos de la señal de carga, de esta manera podemos evitar la pérdida de la señal al momento de que el sistema esté trabajando, con esta actividad podemos hacer un mantenimiento de oportunidad cuando el equipo lo requiera, procurando evitar un servicio de emergencia el cual podría provocar una perdida en la producción.

6.1.4 ACTUADORES PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA.

Los actuadores encargados del control de la temperatura tienen que estar en constante revisión para poder tener un funcionamiento eficiente, dependiendo del tipo de actuador dependerá el tipo de mantenimiento a realizar.

6.1.4.1 SISTEMA DE CALEFACCIÓN.

Dentro de un invernadero existen diferentes tipos de calefacción, y cada uno de ellos requiere un diferente tipo de mantenimiento, dependiendo del diseño y capacidad del equipo. Los más comunes que podemos encontrar son los generadores de calor de combustión directa, intercambiadores de calor y calderas.

6.1.4.1.1 GENERADOR DE CALOR DE COMBUSTIÓN DIRECTA.

Los generadores de calor de combustión directa, incorporan tanto el aire caliente y los gases generados por el combustible (gas, diesel, petróleo, gasolina, aceite) al invernadero.

Para este tipo de generadores de calor, se debe tener en cuenta, que al estar de manera directa la combustión dentro del invernadero, se requiere de una serie de recomendaciones de seguridad para poder ser debidamente instalados.

- El generador o calefactor debe tener una separación de cuando menos 1.50 metros de cualquier material que pudiera ser afectada por el calor.
- El combustible a utilizar debe de contener el menor número de elementos tóxicos para evitar la acumulación de gases dentro de las instalaciones del invernadero.
- Las conexiones del combustible tienen que estar perfectamente selladas.
- La conexión que alimenta al calentador tiene que ser de un material flexible para poder facilitar su ajuste de posición, si es que se requiere hacer un movimiento del equipo (Figura 68).

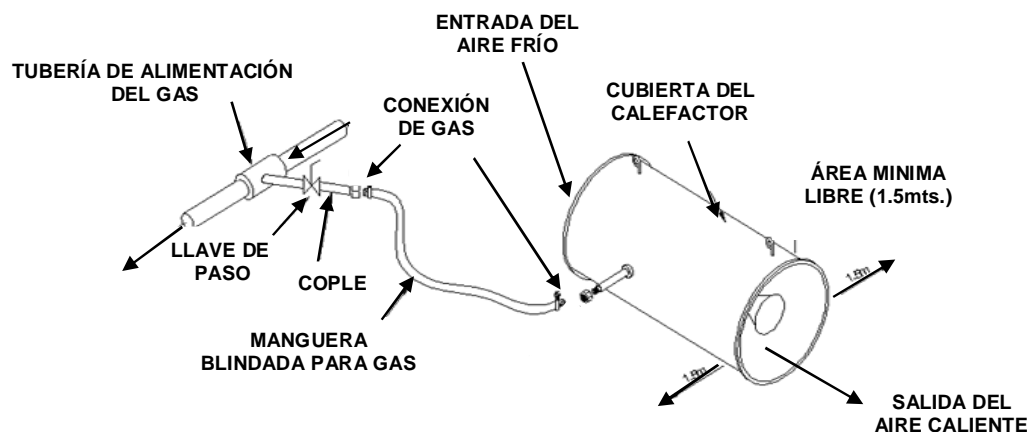


Figura 68. Diagrama de conexión del gas de un calentador tipo cañón.

Un equipo bien instalado desde su inicio facilita los trabajos de mantenimiento garantizando su funcionamiento; sin embargo, es recomendable realizar un servicio de mantenimiento preventivo cuando menos cada año, esto es, antes de iniciar el ciclo del cultivo para verificar que se encuentre en condiciones adecuadas para poder dar inicio al ciclo de trabajo. Hay que revisar la instalación del combustible, que las mangueras y conexiones estén en buen estado y no tengan fugas; que la alimentación eléctrica sea la correcta para los equipos y que el termostato funcione correctamente (Cuadro 14).

Una vez revisado todo esto, es recomendable probar el equipo, haciendo funcionar el equipo en su totalidad para asegurarnos de que todo está en orden.

Cuadro 14. Posibles fallas del equipo y puntos de revisión para el mantenimiento del generador de calor directo.

TIPO DE PROBLEMA	PUNTO DE REVISIÓN PARA SU MANTENIMIENTO
Falla el encendido.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar que se encuentre conectado a la energía eléctrica. 2. Que el voltaje de energía eléctrica sea el correcto (110-127 V.). 3. Que el termostato se encuentre en la temperatura mínima requerida. 4. Que la señal de controlador llegue al equipo 5. Revisar que el interruptor general (switch) se encuentre en encendido.
Falla del equipo en la combustión.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar que se encuentre bien conectado a la alimentación de gas. 2. Que la llave de paso este abierta en su totalidad. 3. Revisar que la válvula pilostatica esté funcionando. 4. Que el electrodo o bujía mande la chispa. 5. Que el transformador mande la chispa a la bujía. 7. Que el termostato este trabajando. 8. Que la válvula solenoide abra cuando llegue la corriente. 9. Que el tanque de gas que alimenta al equipo tenga cuando menos el 20%.
Uno de los equipos no trabaja.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar si la pastilla o interruptor que alimenta al equipo no está disparado, si lo está hay que restablecerlo. 2. Revisar que el cable que alimenta al equipo no esté trozado. 3. Revisar que el termostato del equipo que está fallando funcione correctamente en la temperatura adecuada.

Regularmente en un invernadero siempre hay más de un calentador de este tipo y es recomendable saber cómo es que están instalados eléctricamente para poder hacer una revisión adecuada y rápida si se llegara a presentar un problema por falta de energía en uno de ellos (Figuras 69 y 70).

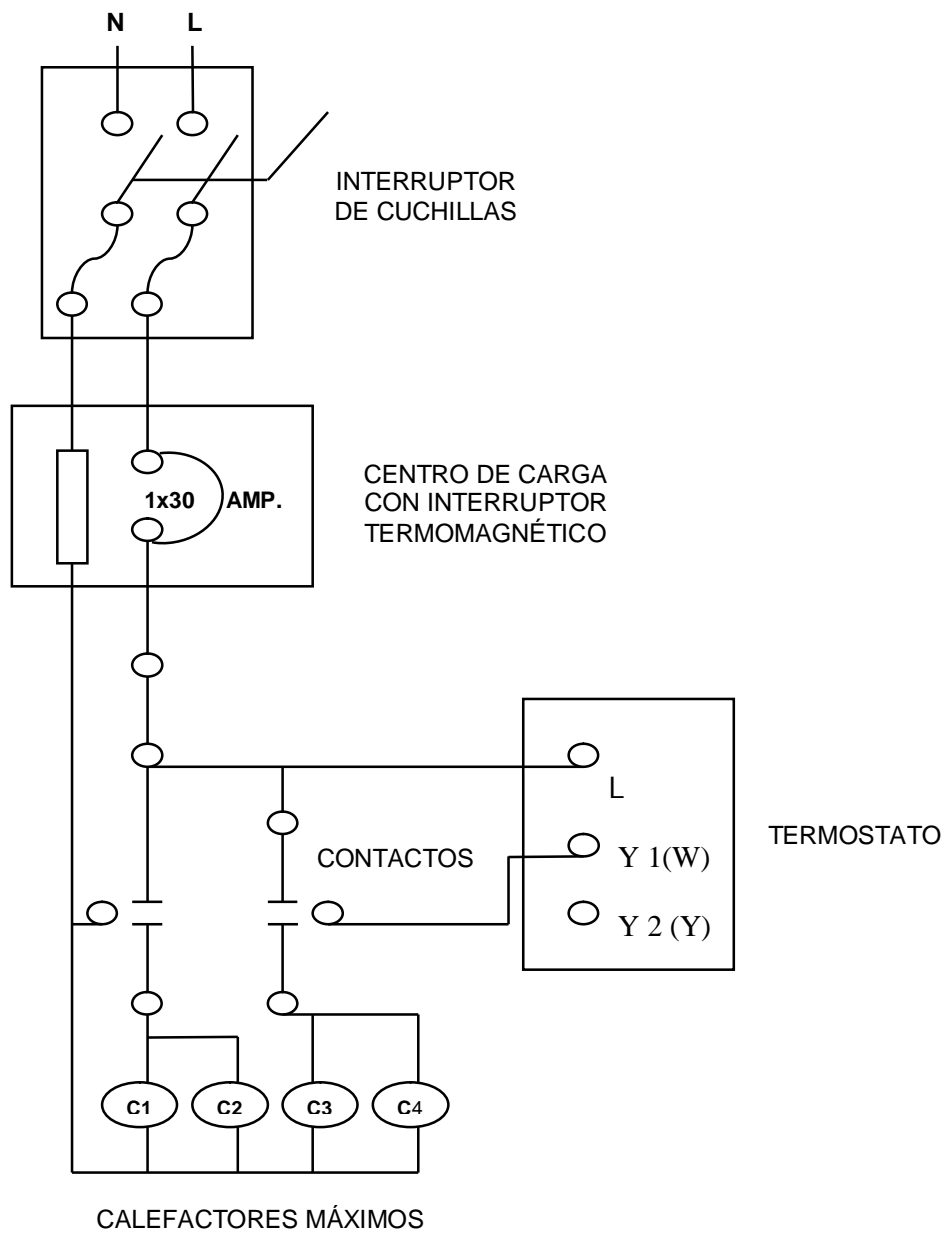


Figura 69. Diagrama eléctrico para un grupo de cuatro calefactores.

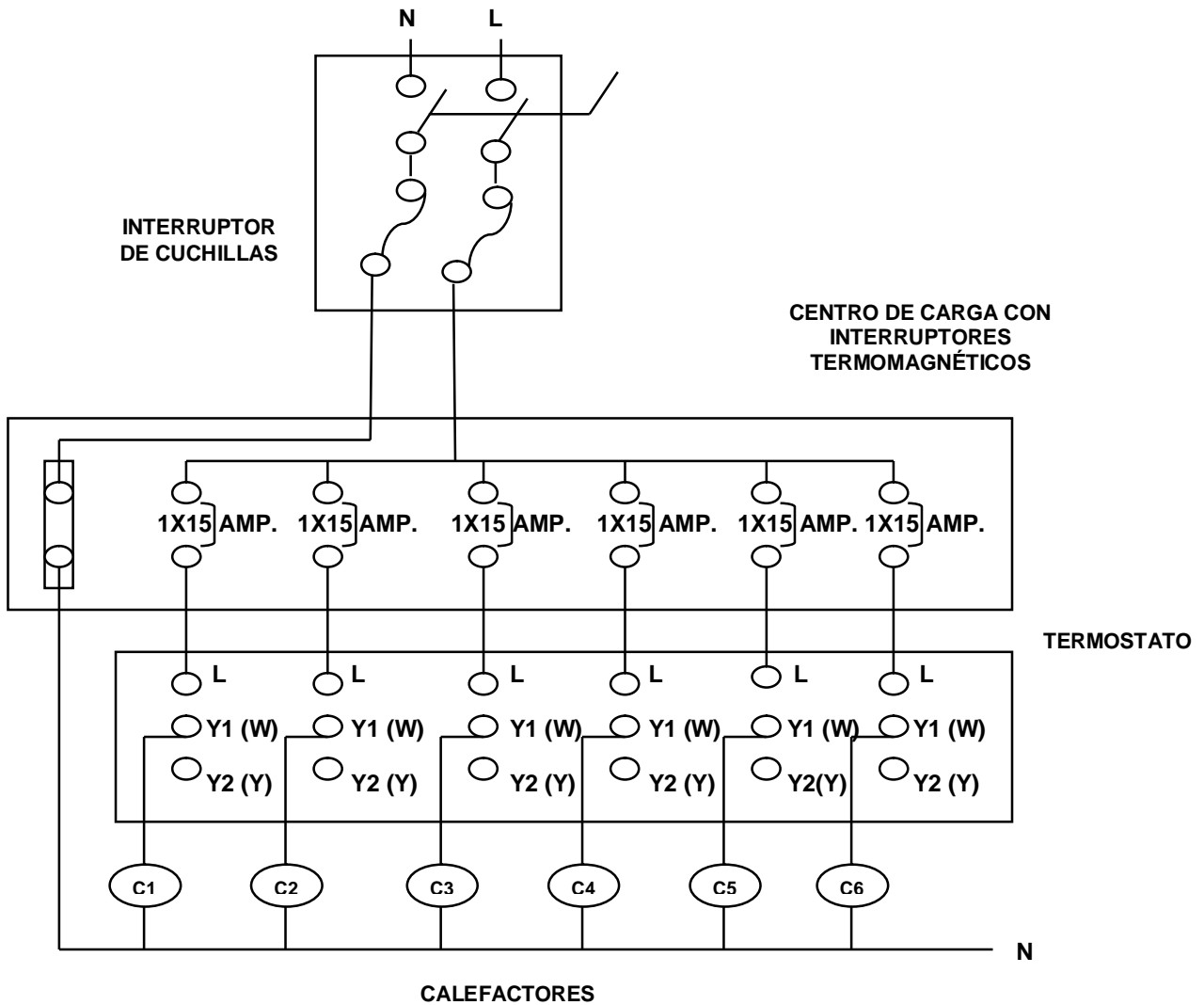


Figura 70. Diagrama eléctrico para la conexión de seis calefactores independientes.

6.1.4.1.2 GENERADOR DE CALOR DE COMBUSTIÓN INDIRECTA.

Los generadores de calor indirecto también conocidos como intercambiadores de calor, son dispositivos diseñados para transferir el calor entre dos medios, por los tubos circula el fluido caliente y por fuera el aire frío, de tal forma que un fluido se enfría y el otro se calienta, trabajan recirculando el aire impulsando por una turbina (Figura 71).

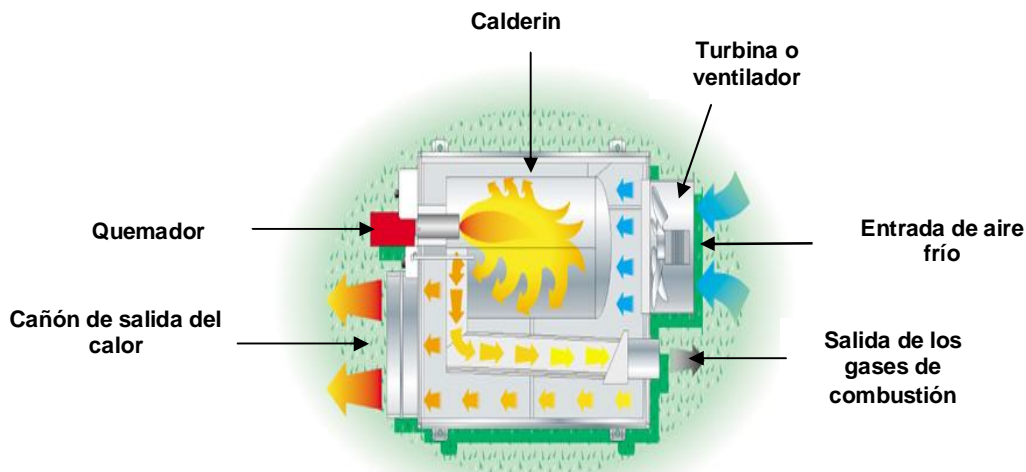


Figura 71. Vista interna del intercambiador de calor.

Antes de comenzar el ciclo de cultivo debe hacerse trabajar el equipo en vacío, para renovar el ambiente dentro del intercambiador y posteriormente hacerlo funcionar totalmente para verificar que funcione correctamente.

Estos calentadores cuentan con un conducto de evacuación de los gases de combustión, hacia el exterior del invernadero y uno de los objetivos de probar los equipos antes de dar inicio al ciclo de cultivo es para verificar que no exista ningún objeto o animal dentro del ducto que obstruya la salida de los gases de combustión.

Otra de las razones del porque se prueba el intercambiador de calor es para verificar el dispositivo de seguridad con el que cuenta este tipo de equipos, los cuales disponen de un control de falla de flama con ionización, que actúa cortando el paso de gas, en el momento que no detecte las llamas del quemador.

Una vez que ha actuado el dispositivo de seguridad del control de falla de flama, es necesario restablecerlo manualmente para poner nuevamente en funcionamiento el quemador.

Se recomienda hacer un servicio de mantenimiento cuando menos cada año antes de dar inicio a la temporada de uso del calentador para identificar las fallas y poder dar solución (Cuadro 15).

Al momento de hacer la revisión del intercambiador de calor es necesario considerar las siguientes recomendaciones.

- El motor de giro de la turbina, tiene que estar limpio y lubricado para eliminar ruidos en baleros causados por el uso y exceso de humedad en el ambiente.

- Al momento de encender el intercambiador de calor revisar si no hay olor a mala combustión.
- Verificar el color del humo que sale de la chimenea, y en caso de haber humo negro, bajar el quemador para darle servicio general.

Cuadro 15. Posibles fallas del equipo y puntos de revisión para el mantenimiento del intercambiador de calor.

DEFECTO	CAUSA	SOLUCIÓN
El quemador no arranca.	1. Falta energía eléctrica.	-Revisar los fusibles de la acometida. -Revisión del relevador térmico.
	2. No llega gas al quemador.	Revisar las llaves a lo largo de la tubería de alimentación que estén abiertas. -Revisar que a la válvula solenoide le llegue voltaje.
El quemador arranca pero no se forma la flama y se bloquea.	1. La válvula de gas no abre.	-Control de falla de flama bloquea el funcionamiento de las válvulas.
	2. No hay chispa en la ignición.	Revisar el funcionamiento del transformador y la posición del electrodo de ignición.
	3. Falta automatización del presostato de aire.	-Revisar las mangueras del presostato que no estén obstruidas por polvo o tierra. -Revisar el presostato.
El quemador arranca, se forma la flama, pero se bloquea.	1. No detecta la varilla de ignición.	-Revisar la varilla y en caso de tener sarro en la punta limpiarla o limarla.

6.1.4.1.3 MANTENIMIENTO DEL QUEMADOR.

El quemador requiere un mantenimiento especial, es aconsejable, que se revise periódicamente que el filtro de gas este limpio y que el elemento de ionización sea eficiente, esto quiere decir que el cable este en buen estado y el electrodo no tenga sarro en la varilla, en todo caso hay que removerlo y limpiarlo, hay que verificar que la chispa del electrodo de encendido se encuentre entre el electrodo y el disco de chapa perforada, para evitar que se bloquee del quemador.

El quemador tiene una función completamente automática y no hace falta maniobras de regulación durante su funcionamiento. La posición de bloqueo es una posición de seguridad, cuando un componente del sistema no funciona eficientemente, antes de desbloquearlo hay que averiguar cuál es la causa por la que se bloqueo.

Cuando se repiten los bloqueos 3 ó 4 veces seguidas, pedir ayuda a un técnico del servicio oficial de asistencia.

En caso de emergencia cerrar las llaves de paso del combustible e interrumpir el suministro de corriente (Cuadro 16).

Cuadro 16. Posibles fallas del equipo y puntos de revisión para el mantenimiento del generador de calor indirecto.

PROBLEMA DEL EQUIPO	PUNTOS DE REVISIÓN PARA SU MANTENIMIENTO
Falla en el encendido.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar que se encuentre conectado a la energía eléctrica. 2. Que el voltaje de energía eléctrica sea correcto (110-127 V.) 3. Que el termostato se encuentre en la temperatura mínima requerida. 4. Que la señal de controlador llegue al equipo. 5. Que el interruptor general (switch) se encuentre en encendido.
Falla el equipo en la combustión.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar que se encuentre bien conectado a la alimentación de gas. 2. Que la llave de paso este abierta. 3. Que la válvula pilostática esté funcionando. 4. Que la bujía o electrodo mande la chispa. 5. Que el transformador mande la chispa a la bujía. 7. Que el termostato este trabajando. 8. Que la válvula solenoide abra cuando llegue la corriente. 9. Que el tanque de gas que alimenta al equipo tenga cuando menos el 10%. 10. Que el control de falla de flama no esté bloqueando el sistema. 11. Que funcione el piloto que detecta la flama.

6.1.4.1.4 MANTENIMIENTO DE LA CALDERA.

Las calderas requieren un sistema de mantenimiento más especializado, sin embargo es recomendable saber que el fabricante se considera exento de cualquier responsabilidad derivada del mal uso del equipo o por una falta de mantenimiento adecuado.

Una caldera es una maquina o dispositivo diseñado para generar vapor. Este vapor es generado a través de una transferencia de calor a una presión constante, en la cual el fluido, originalmente es líquido, el cual se calienta lo suficiente hasta un punto requerido, dependiendo de las necesidades de calor (Figura 72).

En este caso hay que tener en cuenta las indicaciones específicas predispuestas por el fabricante. Las operaciones de instalación, calibración y prueba, son llevadas a cabo por el proveedor.

Siempre se recomienda hacer mantenimiento de la caldera antes de dar inicio a las actividades dentro del invernadero, para tener el equipo en buenas condiciones.

QUEMADOR.

Para el buen funcionamiento de la caldera se recomienda efectuar un constante mantenimiento del quemador, todo depende de que tan constante sea el uso del quemador será la programación del servicio.

Para la limpieza ordinaria, es necesario retirar el quemador de la arandela de ajuste y dirigir un chorro de aire hacia el interior del mismo de modo de hacer salir el polvo acumulado.

Durante la fase de desmontaje y montaje del quemador, se recomienda tener mucho cuidado de no forzar los elementos delicados como:

- Sonda de ionización.
- Electrodo de encendido de gases.

Durante la limpieza del quemador se aconseja: limpiar la cámara de combustión, los fluxes y la chimenea por donde salen los gases de combustión. A fin de prevenir riesgos, se recomienda darle mantenimiento al detector de flama.

MANTENIMIENTO GENERAL.

Limpiar con una aspiradora o brocha de cerdas rígidas el polvo depositado en motores, órganos de transmisión y panel de mandos y control.

Purgar el drenaje de la caldera para desechar los sedimentos acumulados y ajustar los niveles de carga (control de nivel Mc-Donnell).

Revisar el sistema de encendido del quemador, la válvula de paso de combustible y el control de falla de flama, después de revisar todo el sistema, hacerlo funcionar manualmente.

En caso de tener en servicio constante la caldera, se recomienda dar un mantenimiento semanal con el fin de mantener una revisión constante de todo el equipo en su conjunto:

- Limpieza de fluxes o tubos de disipación.
- Limpieza del control bajo nivel Mc-Donnell.
- Limpieza del regulador de gas.
- Revisión del funcionamiento de las válvulas de cierre.

- Revisión del manómetro, mangueras y conexiones que no tengan fugas.
- Revisión de barrenos y electrodos del quemador.
- Control y eficiencia de los dispositivos de seguridad (control de falla de flama).
- Control de temperatura y sonda (sensor).
- Limpieza de filtros.
- Revisión del funcionamiento de las electroválvulas.

Se recomienda hacer servicio al quemador al menos una vez al año, por un técnico especializado para asegurar el buen funcionamiento (Cuadro 17).

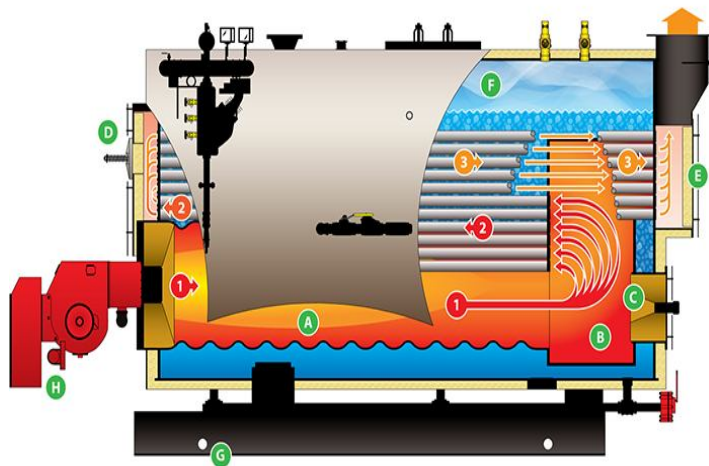


Figura 72. Partes principales del funcionamiento de una caldera.

- A) Cámara de combustión.
- B) Pared para el retorno de la combustión.
- C) Mirilla trasera para la inspección de la cámara de combustión.
- D) Válvulas de alivio para el control del gas.
- E) Chimenea para la expulsión de los gases de combustión.
- F) Amplio domo de vapor.
- G) Base de acero estructural.
- H) Quemador.

1 Combustión del gas dentro de la cámara.

2 Paso de las llamas hacia el intercambiador del calor por medio de los fluxes o tubos de disipación.

3 Retorno del calor por la segunda sección de fluxes hacia la chimenea.

Si la causa de la avería está relacionada con el quemador, se deberá consultar la documentación del mismo. Si no se encuentra solución contratar el centro de servicio de la empresa que ha suministrado el equipo.

Cuadro 17. Posibles fallas del equipo y puntos de revisión para el mantenimiento de una caldera.

AVERÍAS POSIBLES	CAUSAS	SOLUCIONES
La caldera no prende para nada.	El interruptor térmico esta disparado en el panel de control.	-Restablecer el interruptor térmico. -Revisar la entrada de energía.
La turbina de reciclaje del aire no se pone en marcha.	El interruptor térmico esta disparado en el panel de control.	-Restablecer el interruptor térmico.
	El relevador bimetálico del arrancador se dispara.	-Restablecer el relevador bimetálico del arrancador.
El quemador no prende.	No hay suficiente nivel de agua en la caldera.	-Revisar la motobomba, que el relevador térmico no esté disparado.
	El ventilador de reciclaje no se pone en marcha.	-Restablecer el térmico, revisar si está abierta la llave del gas.
	No llega combustible.	-Revisar si hay suficiente gas. (la falta de gas disminuye la presión y afecta el funcionamiento).
	El regulador de temperatura no funciona.	-Revisar que el sensor funciona correctamente. -Cambiar el control de temperatura.
	El quemador está bloqueado.	-Comprobar las causas anteriores, si las fallas continúan llamar a un técnico de servicio.

6.1.4.2 VENTILACIÓN NATURAL.

La ventilación natural requiere de un programa de mantenimiento y supervisión constante, debido a la gran cantidad de señales que se manejan tanto de sensores, controladores, amplificadores de señal, actuadores (motorreductores) e interruptores de límite.

Para tener un buen funcionamiento de este sistema de ventilación, es recomendable hacer una supervisión constante, para tener la seguridad de que esté funcionando de manera

correcta, si es posible esta supervisión tiene que ser diaria, debido a que como las cortinas se enrollan de manera automática, se recomienda revisar que el enrollado sea uniforme para asegurar que el plástico no tenga deformaciones y prolongar su vida útil. También se tiene que verificar que las cortinas estén abriendo y cerrando a las distancias correctas para detectar los posibles desajustes que se presenten por el uso del sistema y corregirlo antes de que puedan causarnos algún problema.

El mantenimiento recomendable para este tipo de sistema es un mantenimiento preventivo, el cual se tendría que hacer mensual con el objetivo principal de asegurar el buen funcionamiento, revisando todas las partes del sistema, principalmente la de los actuadores (Cuadro 18 y 19).

Cuadro 18. Recomendaciones para el mantenimiento de la ventilación natural.

TIPO DE SERVICIO	PUNTO DE REVISIÓN PARA SU MANTENIMIENTO
Diario	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar siempre que estemos dentro del invernadero, que las cortinas se enrollen y desenrolle correctamente. 2. Revisar que las cortinas al abrir o cerrar lo hagan a las distancias correctas, para evitar falta de ventilación o la fuga de calor. 3. Revisar que no haya nada que obstruya el movimiento de las cortinas en ningún momento.
Semanal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Que el controlador mande la señal a los actuadores en el momento que se han programado. 2. Revisar que los movimientos que hagan las cortinas, al momento que manda la señal el controlador, estén bien sincronizados. 3. Hacer los ajustes necesarios en el momento que se requiera dependiendo de las circunstancias que predominen en el ambiente o en las que se encuentre el cultivo.
Mensual	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar que las señales que mandan los sensores de temperatura al controlador sean correctas. 2. Revisar físicamente que los actuadores (motorreductores) trabajen correctamente y no tengan ningún movimiento o ruido extraño que nos pudiera indicar una posible falla. 3. Revisar todas las señales del sistema tanto de sensores, controladores, ordenadores, amplificadores de señal, actuadores y sistema de seguridad (interruptores de límite), que funcionen correctamente.

Cuadro 19. Posibles fallas del equipo y puntos de revisión para el mantenimiento de la ventilación natural.

AVERÍAS POSIBLES	CAUSAS	SOLUCIONES
Las ventanas no abren para nada.	El interruptor térmico general esta disparado en el panel de control.	Restablecer el interruptor térmico. Revisar la entrada de energía.
	No hay señal de mando por parte del controlador.	Revisar si el sensor de temperatura manda la señal al control. Revisar si el amplificador de señal está en buenas condiciones.
Una ventana no funciona.	El interruptor térmico esta disparado en el panel de control.	Restablecer el interruptor térmico que alimenta al motorreductor de la ventana.
	El relevador bimetalico del arrancador se dispara.	Restablecer el relevador bimetalico del arrancador (botón rojo).
	Se quemó el capacitor (motor monofásico).	Cambiar el capacitor teniendo el cuidado de usar uno de la misma capacidad.
Una de las ventanas no abre o cierra en la posición correcta	El control no da los tiempos necesarios para hacer los recorridos.	Ajustar los tiempos en el controlador para que pueda hacer su recorrido completo.
	Hay un obstáculo que impide que la ventana se cierre.	Checar que no haya ningún objeto que obstruya el recorrido de la ventana.
	Los interruptores de limite o final de carrera se accionan antes de tiempo	Verificar que los interruptores de limite este en su posición correcta o no estén accionados.

6.1.4.3 VENTILACIÓN FORZADA.

El uso de ventiladores para hacer circular las masas de aire caliente acumulados dentro del invernadero, nos ayudan para mantenerlo más fresco, forzando la salida de estas masas de aire caliente por la parte cenital.

De no tener instalados ventiladores, la temperatura dentro del invernadero se elevaría de una manera muy considerable provocando un estrés constante a las plantas, provocando

una merma en la producción, es por esto que los ventiladores tienen que estar en buen estado durante todo el proceso de producción.

Es recomendable hacer una revisión mensual de los ventiladores, verificando que funcionen correctamente en el momento que indiquen los controladores y que no presenten ninguna señal que pudiera indicar una posible falla, hay que tener en cuenta que los ventiladores son de uso constante y que un ventilador en mal estado podría provocar un accidente de consideraciones graves (Cuadro 20).

Cuadro 20. Recomendaciones para el mantenimiento de la ventilación forzada.

TIPO DE SERVICIO	PUNTO DE REVISIÓN PARA SU MANTENIMIENTO
Mensual	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar que los ventiladores funcionen en el momento que indique el controlador. 2. Revisar los ventiladores que no tengan ningún funcionamiento extraño (ruido en el motor o movimiento de las aspas).
Semestral	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpiar los ventiladores para quitar el polvo que se acumula. 2. Lubricar los valeros de los motores para evitar desgaste por resequedad. 3. Revisar que los soportes estén en perfectas condiciones.

Al igual que con la calefacción en un invernadero se requieren de varios ventiladores, los cuales llevan una instalación eléctrica similar a la de los calefactores, solo es necesario identificar el panel de control para la temperatura y ubicar la sección que corresponde a los ventiladores, para poder hacer la revisión adecuada si se presenta un problema por la falta de energía (Figuras 69 y 70) (Cuadro 21).

Cuadro 21. Posibles fallas del equipo y puntos de revisión para el mantenimiento de los ventiladores.

AVERÍAS POSIBLES	CAUSAS	SOLUCIONES
Los ventiladores no prenden para nada.	El interruptor térmico general esta disparado en el panel de control.	Restablecer el interruptor térmico. Revisar la entrada de energía.
	No hay señal de mando por parte del controlador.	Revisar si el sensor le manda la señal al control. Revisar si el amplificador de señal está en buenas condiciones.

Un ventilador no funciona.	El interruptor térmico esta disparado en el panel de control.	Restablecer el interruptor térmico que corresponde al ventilador.
	El relevador bimetálico del arrancador se dispara.	Restablecer el relevador bimetálico del arrancador (botón rojo).
	Se quemó el capacitor (motor monofásico).	Cambiar el capacitor teniendo el cuidado de usar uno de la misma capacidad.
Uno de los ventiladores hace más ruido de lo normal.	Los baleros están cascados por el uso y falta de lubricación.	Lubricar los baleros y hacer el cambio lo más inmediato posible.
	El aspa esta desbalanceada o se dobló.	Cambiar el aspa de manera inmediata para evitar accidentes. Verificar que no hay algún objeto que este pegando con el aspa.

6.2. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DEL RIEGO.

El mantenimiento del sistema para el control del riego es de gran importancia, por lo que representa el buen uso del agua dentro de las actividades agrícolas, es por esta razón que se requiere de un amplio conocimiento de los puntos más importante, en los cuales debemos tener mayor cuidado para poder tener un uso eficiente de este recurso.

Al igual que en todos los sistemas se debe tener perfectamente identificado cual es el flujo de las señales con las que se cuenta y tener identificado en que lugar la señal se está perdiendo y poder hacer los ajustes necesarios (Figura 73).

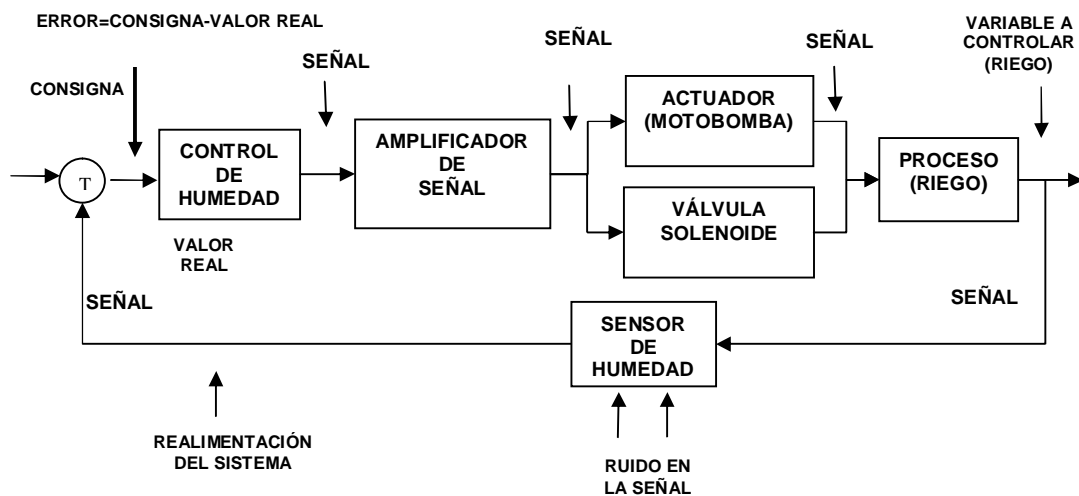


Figura 73. Flujo de la señal del sistema para el control del riego.

6.2.1 SENSORES DE HUMEDAD.

El sensor más utilizado es el tensiómetro, este equipo es muy delicado por sus características de fabricación, y es por esta razón que requiere de un mantenimiento adecuado para poder tener una señal confiable que nos pueda mantener con humedad nuestro cultivo en el momento que lo requiera.

MANTENIMIENTO DEL TENSÍOMETRO.

La cerámica del tensiómetro es un medio filtrante, es un elemento sujeto a taparse perdiendo su porosidad y conductividad.

OBSTRUCCIÓN DE LA CERÁMICA: Con el paso del tiempo, materiales y partículas tales como algas, arcillas, ácidos húmicos, partículas de material orgánico y suelo, van tapando los poros de la cerámica. Como consecuencia de lo anterior, con el paso del tiempo, la cerámica del tensiómetro disminuye su conductividad hidráulica y el tensiómetro pierde velocidad de respuesta.

LAVADO DE LA CERÁMICA: Nunca intente lavar la cerámica con alguna solución que contenga hipoclorito de sodio concentrado, ácidos minerales fuertes, sosa cáustica, solventes ni ningún otro agente químico. Muchos de estos afectan irreversiblemente la conductividad hidráulica de la cerámica. Se puede restituir la conductividad hidráulica de la cerámica, lijándola con una lija delgada de agua del No. 100. Cuando pierde totalmente su conductividad hidráulica, es necesario reemplazarla por una nueva, por esta razón es importante que al momento de adquirir un tensiómetro de este tipo nos cercioremos que podamos tener la cerámica de reemplazo.

6.2.2 CONTROLADOR DE RIEGO.

Hay dos formas de controlar el riego, una es controlando el riego solo por tiempo (Temporizadores) y el otro por medio de un controlador el cual se retroalimenta con la señal de un sensor (Tensiómetro).

En cualquiera de los dos casos, ambos están fabricados electrónicamente, por lo que internamente no se podría hacer nada, pero si se puede identificar cual es la razón de la falla para hacer las correcciones necesarias y tener funcionando los equipos (Cuatro 22 y 23).

Cuadro 22. Recomendaciones para identificar la falla del controlador de riego.

TIPO DE PROBLEMA	FALLA QUE PRESENTA	RECOMENDACIÓN
El controlador no prende.	No controla el riego.	-Verificar que al control llegue la corriente suficiente para que pueda prender el equipo. -Verificar que las conexiones estén bien apretadas para evitar un falso contacto.
La humedad que indica el control no es correcta.	No controla el riego.	-Verificar que el sensor sea el correcto y que este bien conectado. -Verificar que el sensor este bien ubicado y limpio de impurezas que pudieran estar distorsionando la señal. -Si cambiamos el sensor y no se corrige el problema será necesario enviar el control al laboratorio para que realicen su reparación.
No manda la señal a los actuadores cuando sale de los límites programados.	No controla el riego.	-El equipo esta desprogramado, se desactivaron las salidas de alarma, hay que reprogramarlo. -Hay que verificar que el control este mandando la señal a los amplificadores de señal y que la señal este llegando al actuador.

Cuadro 23. Recomendaciones para identificar la falla del temporizador que controla el riego.

TIPO DE PROBLEMA	FALLA QUE PRESENTA	RECOMENDACIÓN
El temporizador no prende.	No controla el riego.	- Verificar que al control llegue la corriente suficiente para que pueda prender el equipo. - Verificar que las conexiones estén bien apretadas para evitar un falso contacto.
El temporizador prende pero no manda la señal.	No controla el riego.	- Verificar que no esté desprogramado el temporizador. - Verificar que las terminales del temporizador estén bien apretadas. - Verificar que las señales de salida del temporizador se transmitan a los amplificadores.
El temporizador manda la señal en tiempos diferentes a los programados.	No controla el riego.	- Hacer una reprogramación del temporizador. - Si después de reprogramar continua la falla cambiar el temporizador.

6.2.3 ACTUADORES PARA EL CONTROL DE RIEGO.

El controlador o temporizador manda la señal de mando a los actuadores inmediatos para poder realizar la consigna de trabajo (regar el cultivo), de esta manera se accionan de manera simultánea la motobomba y la válvula solenoide. Cada una trabaja de manera independiente, pero son accionadas al mismo tiempo por el mismo control, de tal manera que las dos forman parte de una misma consigna de trabajo.

Es de gran importancia tener en constante observación estos dos actuadores, ya que si uno de ellos llegara a fallar no se llevaría a cabo el riego, provocando estrés en nuestro cultivo por falta o exceso de agua.

MOTOBOMBA PARA RIEGO.

La motobomba requiere un mantenimiento preventivo, recomendado cada seis meses con el objeto de tener en perfectas condiciones el equipo. Es recomendable estar en constante observación para detectar cualquier tipo de anomalía que pudiera hacer que la motobomba no trabajara en el momento que se requiere (Cuadro 24).

Cuadro 24. Recomendaciones de mantenimiento de la motobomba de riego.

TIPO DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIÓN
Preventivo	<ul style="list-style-type: none">-Hacerlo cada seis meses con el objeto de prevenir cualquier posible falla.-Revisar que no tenga fuga de agua tanto en las conexiones como en el sello mecánico.-Revisar que los baleros no hagan ruido por falta de lubricación.
Correctivo	<ul style="list-style-type: none">-Hacer cambio de baleros cuando hagan mucho ruido y no se quite con el mantenimiento preventivo.-Sellar perfectamente las conexiones con teflón en caso de tener fugas para evitar pérdidas por escurrimiento.-En caso de tener fuga del agua causada por el sello mecánico, hacer el cambio del sello de manera inmediata, para evitar pérdida de agua.

VÁLVULA SOLENOIDE.

Las válvulas solenoides no requieren de un mantenimiento específico, de hecho muchos fabricantes de válvulas en su ficha técnica indican que son libres de mantenimiento, esto quiere decir que es suficiente con que tenga las condiciones requeridas de voltaje y presión para que por sí sola puedan trabajar.

Las válvulas que se utilizan con mayor frecuencia son normalmente cerradas (NC), esto quiere decir que la válvula siempre está cerrada y que solo abrirá cuando la bobina se energiza. Si la válvula no tiene el voltaje suficiente, la bobina magnética no podrá extraer el pistón para permitir el paso del agua y no se podrá efectuar el riego.

Hay algún tipo de válvulas que requieren de cierta presión para poder trabajar, esto quiere decir que no solo requieren un voltaje adecuado sino también de cierta presión para poder ayudar a la bobina para abrir. Este tipo de válvulas es muy raro verlas dentro de un invernadero pero es recomendable saber que pudiéramos encontrarlas con una de ellas.

Todas las válvulas tienen un orden de instalación, una entrada y una salida del flujo en lo cual tenemos que tener mucho cuidado cuando la estemos instalando para no perder presión en el flujo causado por una mala instalación (Figura 74).

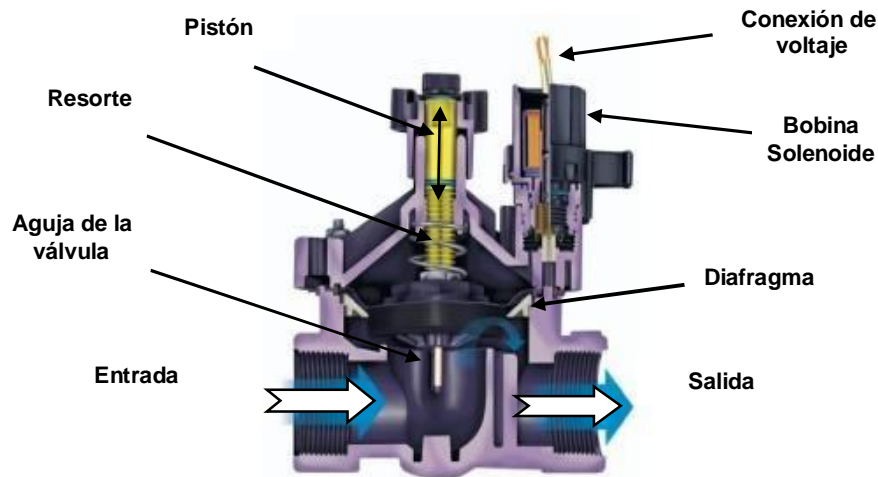


Figura 74. Vista interna de la válvula solenoide para el control del riego.

6.3 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA.

El buen manejo de la humedad ambiental dentro del invernadero favorece de manera considerable al desarrollo del cultivo, es por esta razón que este sistema tiene que permanecer siempre en condiciones óptimas para su funcionamiento.

Se recomienda un mantenimiento preventivo, con el fin de tener siempre en buen estado todas las partes del sistema, desde los sensores, los controladores y los actuadores.

6.3.1 SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA.

En la actualidad los sensores de humedad ambiental son electrónicos, por lo que su mantenimiento debe llevarse a cabo con el fabricante; sin embargo para prevenir algún

desajuste, es recomendable que estén instalados en lugares adecuados, libres de cualquier factor que pudiera alterar su funcionamiento, es recomendable que no estén instalados en un lugar en el cual le dé directo el sol, que no estén muy cerca de los actuadores o de cualquier otro sistema que pudiera alterar la información.

6.3.2 CONTROLADORES DE HUMEDAD RELATIVA.

Los controles de humedad (humidostato) son componentes electrónicos, que al igual que los controles de temperatura requieren de un equipo especial para poder darle servicio de mantenimiento o reparación, ya que cuentan con la llamada tecnología de superficie. Sin embargo es importante conocer los errores que se pueden llegar a presentar para poder hacer las correcciones necesarias y tener funcionando correctamente los equipos (Cuadro 25).

Cuadro 25. Recomendaciones para identificar la falla del la válvula solenoide.

TIPO DE PROBLEMA	FALLA QUE PRESENTA	RECOMENDACIÓN
La válvula no funciona.	No abre la válvula.	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar que llegue la corriente a la válvula. - Verificar que las conexiones estén bien apretadas para evitar un falso contacto en el control o el amplificador de señal. - Si llega corriente a la bobina de la válvula y no abre, cambiar la bobina.
La válvula en ocasiones funciona y en otras no.	Se apaga cuando está trabajando.	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar que no tenga un falso contacto en la continuidad de la señal. - Si la bobina se calienta y no abre, es porque no le está llegando la corriente suficiente.
No cierra la válvula en su totalidad.	Fuga de agua que va a dar al cultivo.	<ul style="list-style-type: none"> - El diafragma de la válvula esta gastado por el uso dejando pasar agua, hay que cambiar la válvula. - El resorte del pistón perdió tensión y la presión del agua hace que el pistón suba lo suficiente para dejar pasar agua.

6.3.3 ACTUADORES PARA EL CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA.

EVAPORADORES.

En el caso de los evaporadores o generadores de vapor, es recomendable hacer una revisión constante de los niveles de agua, los cuales tienen que estar dentro de los parámetros establecidos, para evitar que se queden sin agua y pueda dañarse el generador de vapor (Cuadro 26).

Dependiendo del tipo de evaporador y la frecuencia con la que se use el equipo dependerá el tipo de mantenimiento que se tenga que implementar, sin embargo se recomienda, independientemente del tipo de generador que se tenga, hacer un mantenimiento preventivo revisando los puntos importantes al igual que en el caso de la caldera.

Cuadro 26. Recomendaciones para identificar la falla del evaporador.

TIPO DE PROBLEMA	FALLA QUE PRESENTA	RECOMENDACIÓN
El evaporador no prende.	No controla la humedad.	<ul style="list-style-type: none">- Verificar que al evaporador llegue la corriente suficiente para que pueda prender el equipo.- Verificar que las conexiones estén bien apretadas para evitar un falso contacto en el control o el amplificador de señal.
El evaporador en ocasiones funciona y en otras no.	Se apaga cuando está trabajando.	<ul style="list-style-type: none">- Verificar que no tenga un falso contacto en la continuidad de la señal.- Si la bobina se calienta y no abre, es porque no le está llegando la corriente suficiente.
El evaporador prende pero no controla la humedad.	No controla la humedad.	<ul style="list-style-type: none">- La válvula que libera el vapor no abre, puede estar dañada.- La válvula abre pero no sale vapor debido a que el sistema que genera el vapor no trabaja.

MICRO ASPERSORES.

Si el uso del equipo es frecuente, es recomendable hacer un servicio de mantenimiento preventivo cada mes, verificando el funcionamiento adecuado del sistema, manteniendo, limpios los depósitos del agua y el filtro para evitar impurezas en los depósitos.

Antes de dar inicio a un ciclo de cultivo tenemos que dar un servicio de mantenimiento general al sistema de micro aspersión (actuador), para verificar que funcione de manera correcta, procurando tener cuidado de revisar los siguientes puntos.

- Hacer funcionar el equipo en su totalidad para revisar cada uno de los pasos de trabajo, tratando de encontrar algún posible error.
- Verificar la señal de mando del controlador hacia los amplificadores de señal, y de los amplificadores hacia los actuadores.
- Lavar el depósito de agua para eliminar los sedimentos que pudieran llegar a acumularse.
- Lavar los filtros de agua para eliminar las impurezas de pudieran acumularse.
- La bomba del agua y la válvula solenoide tiene que entrar en función al mismo tiempo.
- Limpiar las boquillas de los aspersores para evitar que estén tapadas.

Recordemos que la vida útil de nuestros equipos y en buen funcionamiento, depende del buen servicio de mantenimiento que le demos.

NEBULIZADORES.

La importancia de darles mantenimiento a los equipos es por los beneficios reales que el agricultor obtiene al tenerlos en buen estado.

Hay que realizar una revisión visual de los elementos que componen el actuador, con o sin accionamiento del mismo, además de comprobar el funcionamiento de los sistemas de seguridad.

Se recomienda hacer un mantenimiento preventivo cada mes, verificando que el sistema funcione correctamente, hay que mantener, limpios los depósitos del agua y el filtro para evitar impurezas en los depósitos.

Al igual que todos los sistemas hay que hacer un mantenimiento general antes de dar inicio al ciclo de cultivo, verificando que funcionen de manera correcta las señales que mandan tanto los controladores como los amplificadores de la señal.

El mantenimiento de los atomizadores y pulverizadores es fundamental para conseguir un elevado nivel de seguridad para nuestro cultivo.

PAREDES HÚMEDAS.

Hay que realizar un mantenimiento preventivo cada mes con el objetivo de mantener en buen estado este sistema de control de humedad.

Al realizar el mantenimiento, tenemos que verificar el funcionamiento de la motobomba que recircula el agua, la cual no tiene que tener ninguna fuga de agua y no tiene que hacer ningún ruido fuera de lo normal que nos pudiera indicar que está dañada por causa de los baleros, la motobomba no tiene que calentarse de lo contrario si se calienta nos estaría indicando que se está forzando.

Los extractores de aire al igual que los ventiladores que se usan en la ventilación forzada tienen que tener un servicio de lubricación para evitar que los baleros se dañen por falta de esta, y que las aspas se encuentren en buen estado para evitar cualquier accidente (Cuadro 27).

Es importante tener bien ubicado cual es el control de humedad relativa y cuáles son los amplificadores a los cuales manda la señal de control, de esta manera podemos dar seguimiento a las señales del controlador para identificar cualquier pérdida de la misma.

Cuadro 27. Recomendaciones para identificar la falla en la pared húmeda.

TIPO DE PROBLEMA	FALLA QUE PRESENTA	RECOMENDACIÓN
Un extractor no prende.	No tiene energía el extractor.	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar que el interruptor térmico que alimenta al extractor no esté disparado, si lo está hay que restablecerlo. - Verificar que el relevador térmico del arrancador no esté disparado por sobrecarga, si lo está hay que restablecerlo pulsando el botón rojo.
La motobomba no funciona.	No recircula el agua por falta de energía.	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar que no tenga un falso contacto en la continuidad de la señal que manda el controlador. - Verificar que el interruptor térmico que alimenta a la motobomba no esté disparado.

6.4 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA LUZ.

Recordemos que hay dos tipos de luz que se tiene que controlar en un invernadero, por un lado tenemos la luz eléctrica que nos ayuda a controlar el fotoperiodo de algunos cultivos y por el otro la luz solar, la cual es controlada con el uso de mallas sombras para disminuir el paso de los rayos solares en los días que hay una elevada radiación.

El control de la luz eléctrica es un sistema que está prácticamente libre de mantenimiento, debido a que está totalmente limitado a la función del temporizador horario, el cual solo se encarga de prender o apagar las luces bajo los horarios ya establecidos, sin tener la capacidad propia de cambiar el programa si existiera alguna variable diferente a las ya consideradas.

En el caso del control de la luz solar, se requiere de un conocimiento más amplio del funcionamiento de este sistema, debido a que este sistema tiene una retroalimentación que permite que el programa pueda decidir el momento en que tendría que extender o enrollar las mallas (Figura 75).

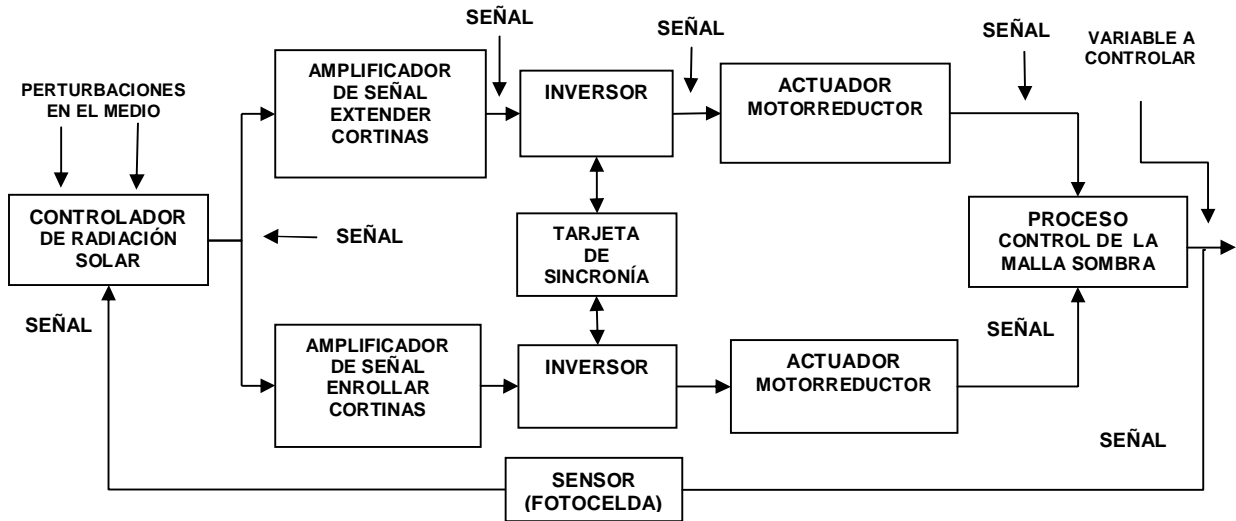


Figura 75. Diagrama para el control de la malla sombra con tarjeta de sincronía.

6.4.1 SENSORES DE LUZ.

Este tipo de fotosensores al igual que muchos sensores de hoy en día, están libres de mantenimiento por su diseño y fabricación, sin embargo, se recomienda que el fotosensor esté orientado al norte y libre de cualquier obstáculo que pudiera alterar la señal durante su periodo de trabajo, hay que limpiar cada tres meses la fotocelda del polvo que pudiera llegar a acumularse para tener una mejor señal de registro.

6.4.2 ACTUADORES PARA EL CONTROL DE LA LUZ.

Una vez que el controlador procesa la señal que le manda el sensor, este manda la señal a los amplificadores los cuales serán los encargados de activar los actuadores para extender o enrollar la malla.

Es recomendable hacer un mantenimiento preventivo a este sistema cada seis meses, verificando el funcionamiento de cada una de las señales de mando, las cuales tienen que transmitir sin contratiempo, hacer lubricación de las secciones que así lo requieran por el movimiento que realiza.

Antes de dar inicio a un ciclo de cultivo hay que verificar y dar servicio general al sistema de sombreado, para tener un buen funcionamiento del sistema se recomienda hacer revisión de los siguientes puntos.

- Hacer funcionar el equipo en su totalidad para revisar cada uno de los pasos de trabajo, tratando de encontrar algún posible error.
- Verificar la señal de mando del controlador hacia los amplificadores de señal, y de los amplificadores hacia los actuadores, con el objetivo de comprobar la calidad de la señal (que no se interrumpa).
- Revisar los interruptores de seguridad, los cuales tienen que estar en su posición correcta, y que al accionarlos manualmente funcionen correctamente.
- Accionar de forma manual la fotocelda para que el sistema haga los movimientos en su totalidad verificando que el sistema está listo para trabajar.

No obstante que nuestro sistema tenga el mantenimiento preventivo, siempre pueden existir algunos imprevistos que podrían hacer que nuestro sistema no funcione correctamente (Cuadro 28).

Cuadro 28. Recomendaciones para identificar la falla en el control de la malla sombra.

AVERÍAS POSIBLES	CAUSAS	SOLUCIONES
La malla no se mueve.	El interruptor térmico general esta disparado en el panel de control y no manda corriente al sistema.	Restablecer el interruptor térmico. Revisar la entrada de energía.
	No hay señal de mando por parte del controlador.	Revisar si el sensor le manda la señal al control. Revisar si el amplificador de señal está en buenas condiciones.
La malla solo hace un movimiento y deja pendiente el otro.	El interruptor térmico esta disparado en el panel de control.	Restablecer el interruptor térmico que corresponde al motor que no trabaja.
	El relevador bimetálico del arrancador se disparó por sobrecarga.	Restablecer el relevador bimetálico del arrancador (botón rojo) y verificar la causa del porque se sobrecarga.
	El interruptor de seguridad que limita el movimiento se queda accionado.	Accionar el interruptor de seguridad de forma manual para asegurar que esta sea la falla.
	Una salida del controlador no está funcionando.	Con un multímetro verificar que este mandando la señal al amplificado. Accionar de forma manual el movimiento que no se realiza.

La malla se atora cuando se recorre.	La tarjeta de sincronía esta descalibrada.	Hay que ajustar los niveles de velocidad en la tarjeta. (mandarla con un técnico especializado).
--------------------------------------	--	--

6.5. SENSORES DE CO₂.

Cada seis meses hay que hacer unas pruebas de calidad a los sensores para verificar su funcionamiento, hay que liberar CO₂ cerca de los sensores para verificar la reacción, si responde oportunamente a la prueba no habrá problema, pero si la respuesta de la señal no es correcta hay que asegurarse de que los rangos máximos y mínimos estén correctamente ajustados de no ser así hay que ajustar el equipo.

6.5.1 ACTUADORES PARA EL CONTROL DEL CO₂.

El controlador monitorea la concentración del CO₂ y una vez que detecta que dicha concentración se ha salido de los límites programados, manda la señal al actuador que se encargara de corregir la concentración.

Se recomienda hacer un mantenimiento preventivo a este sistema cada seis meses, verificando el funcionamiento de cada una de las señales de mando, las cuales tienen que transmitirse sin contratiempo.

Antes de dar inicio a un ciclo de cultivo hay que verificar y dar servicio general al sistema, para tener en buen funcionamiento el sistema se recomienda hacer una revisión de los siguientes puntos.

- Hacer funcionar el equipo en su totalidad para revisar cada uno de los pasos de trabajo, tratando de encontrar algún posible error.
- Verificar la señal de mando del controlador hacia los amplificadores de señal, y de los amplificadores hacia los actuadores, con el objetivo de comprobar la calidad de la señal (que no se interrumpa).
- Revisar que los ventiladores funcionen adecuadamente cuando reciban la señal del controlador.
- Revisar que la válvula solenoide que libera el CO₂ abra inmediatamente al recibir la señal y que al cerrar selle perfectamente evitando cualquier tipo de fuga.
- Accionar de forma manual el equipo para que el sistema haga sus movimientos en su totalidad verificando que el sistema está listo para trabajar.

No obstante que nuestro sistema tenga un mantenimiento preventivo adecuado, siempre podrán existir imprevistos que puedan hacer que nuestro sistema no funcione de manera correcta (Cuadro 29).

Cuadro 29. Recomendaciones para identificar la falla en el controlador de CO₂.

AVERÍAS POSIBLES	CAUSAS	SOLUCIONES
El controlador no prende.	El interruptor térmico general esta disparado en el panel de control y no manda corriente al sistema.	-Restablecer el interruptor térmico. -Revisar la entrada de energía.
El controlador prende pero no controla.	Las salidas de mando están flojas.	-Revisar las conexiones que estén bien apretadas.
	Las salidas de controlador no dan señal a los amplificadores.	-Revisar que el control no este descalibrado. -Si en la pantalla aparece que manda señal pero no sale por las conexiones de mando, mandar el equipo con un especialista, se dañaron las salidas.
El control manda la señal para dosificar el CO ₂ pero no funciona.	Se pierde la señal de mando y no llega al actuador.	-Verificar la continuidad de la señal, pudiera ser que la bobina de uno de los amplificadores está dañada. -Verificar que la válvula que dosifica el CO ₂ funcione correctamente, (que no esté quemada la bobina). -Verificar que el depósito de CO ₂ tenga lo suficiente.

6.6. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CONTROL INTEGRAL.

El mantenimiento del sistema de control integral, es el más importante de todos, y del que se tiene que tener mayor conocimiento y cuidado al realizar dicha actividad.

La integración de todas las señales de mando de los diferentes controladores que conforman el sistema, exige un mantenimiento más preciso y programado, el cual tiene que estar a cargo de una persona calificada que conozca perfectamente el diseño, la distribución y la puesta en marcha de cada uno de los sistemas que lo integran.

Es recomendable realizar dos mantenimientos preventivos generales al año, uno al inicio del ciclo de trabajo y el otro cada seis meses, esto es con el fin de tener en perfectas condiciones nuestros equipos durante todo el ciclo de trabajo.

Al realizar el mantenimiento se tiene que hacer una revisión general de todas y cada una de las partes que lo conforman, haciendo una revisión adecuada de cada uno de los subsistemas de los que está compuesto, revisando los sensores de señal, los controladores, el PLC, los amplificadores de señal y los actuadores (Cuadro 30) (Figura 62).

Cuadro 30. Recomendaciones para el mantenimiento del sistema integral de control.

TIPO DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIÓN
Mantenimiento anual o de inicio de ciclo.	<ul style="list-style-type: none"> - Hacer una revisión de todas las conexiones de los controles y amplificadores de señal, para verificar que no tengan alguna terminal floja. - Limpiar con una brocha todo el panel de control para desprender el polvo que pudiera acumularse. - Con una aspiradora limpiar todo el panel para extraer todo el polvo posible. - Revisar que no existan señales de exceso de humedad dentro del panel. Si lo hubiera hay que lavar el panel con dieléctrico aplicándolo a presión con pistola de aire, procurando lavar principalmente todos los amplificadores de señal, ya que se lavo todo el panel se deja secar sin usar por tres días (solo si se encuentran excesos de humedad dentro del panel). - Darle mantenimiento a los sensores, controladores y amplificadores de señal. - Hacer la prueba de las señales de los controladores a los actuadores con el fin de probar el funcionamiento de los actuadores. - Hacer la prueba de todo el sistema para verificar que todo esté en orden.
Mantenimiento semestral.	<ul style="list-style-type: none"> - Hacer limpieza de los sensores para que estén en condiciones de trabajo. - Revisar los controles que estén trabajando correctamente con los parámetros predestinados. - Hacer la prueba de todo el sistema para verificar que todo esté en orden.

6.6.1 SENSORES.

La realización del mantenimiento a los sensores, es una actividad que se tiene que realizar con el cuidado de no dañar la parte sensible del sensor, -que es la que se encarga de monitorear la variable por controlar.

Realizar una supervisión adecuada de los sensores durante todo el ciclo, podría garantizar que la señal que se mande a los controladores o transductores de señal sea lo más confiable posible, por esta razón se recomienda que al hacer su mantenimiento se considere:

- Los sensores tienen que estar perfectamente ubicados en un lugar adecuado, en el cual puedan estar monitoreando la variable correspondiente, sin que exista algún factor no natural que pudiera estar alterando la señal.
- La conexión del sensor al controlador, tiene que estar siempre en perfecto estado procurando que sea en una sola línea sin extensiones.
- El sensor siempre tiene que estar libre de impurezas que pudieran alterar la señal (polvo, sarro, basura etc.).

6.6.2 CONTROLADORES.

Todos los controladores o transductores de señal del sistema automatizado, requieren de una supervisión constante para la realización de ajustes a los parámetros que se estén manejando. Dependiendo del estado fenológico y de las condiciones atmosféricas y climáticas en las que se encuentre nuestro cultivo, dependerán los ajustes manuales que se tengan que hacer a los equipos.

La revisión periódica de los controladores, es con el objeto de garantizar que las señales que está recibiendo por parte de los sensores sean correctas.

Se tiene que realizar una serie de pruebas al control para verificar que esté trabajando correctamente, al alterar la señal del sensor podremos ver cómo reacciona el controlador, si actúa de forma adecuada a los parámetros preestablecidos, mandando las señales correspondientes ya sea a los actuadores o al PLC para que procese la información y mande las señales de control de manera inteligente.

6.6.3 CONTROLADOR INTEGRAL (PLC).

Los controladores integrales o PLC's son dispositivos electrónicos de estado sólido, su diseño y fabricación los hace ser unos equipos altamente eficientes.

Es muy importante estar pendiente del cambio de la pila de respaldo, para hacer el cambio en el momento que el equipo lo indique. Es necesario cambiarla para evitar la pérdida del programa por falta de energía.

Se recomienda estar pendiente de las señales tanto de entrada como de salida, para verificar que los actuadores estén recibiendo la señal.

Si por alguna razón el PLC tuviera un error en el programa, el mismo PLC mandaría una señal de alerta la cual se reflejara en el display o pantalla y prendera una lámpara piloto de color rojo en la parte frontal del panel, indicando que hay un error en el sistema, en este caso se recomienda llamar al técnico encargado del programa para hacer los ajustes y recomendaciones pertinentes.

PRECAUCIONES.

Recordemos que los sistemas automatizados requieren de personal calificado para su mantenimiento, por lo que se recomienda:

- No manipular el equipo si se desconoce su funcionamiento.
- No manipular el equipo cuando esta energizado.
- Seguir las bitácoras de mantenimiento para cada sistema y periodo de servicio. (ver anexo)

VII. ANÁLISIS DEL PROTOCOLO

El protocolo de mantenimiento enfocado en la falla del sistema, se utiliza para detectar posibles causas de avería, y establecer el cronograma de mantenimiento en función de los tiempos de producción del invernadero.

El modelo general para la verificación del sistema de automatización se presenta en el diagrama flujo (Figura 61). Con este diagrama, con la estructura del panel de control (Figura 62) y con el diagrama de funciones del PLC (figura interno), así como la puesta en marcha de cada componente del sistema, se observó que las fallas pueden preverse, en diferentes momentos durante el ciclo de producción.

De acuerdo con los resultados obtenidos para el mantenimiento preventivo del sistema de automatización en un invernadero en producción, se observó que existe una reducción del tiempo del sistema fuera de servicio, cuando se optimiza el número de inspecciones, pasando de un sistema semestral a una inspección semanal durante el funcionamiento del sistema. Esta inspección puede ser repartida a lo largo del proceso productivo. Antes de comenzar un ciclo nuevo de producción se realiza el mantenimiento completo del sistema y se pone en marcha en su totalidad para prevenir alguna condición de falla durante el ciclo de producción, simulando los factores que pueden afectar el funcionamiento del sistema y con ello evitar una merma en la producción, debida al mal funcionamiento del sistema, que si bien pueden ser corregidas, implicarían mayores costos o una modificación del tiempo establecido para la producción.

El programa de trabajo debe de ser elaborado de manera específica para cada equipo, asimismo debe registrarse y respaldarse los historiales y toda actividad de mantenimiento preventivo en bitácoras por sistema, de acuerdo a los tiempos requeridos para el mantenimiento. Los distintos trabajos que se tienen que realizar para el mantenimiento obligan a distintos niveles de programación en el tiempo:

1º.- Nivel de inicio de ciclo o semestral. Se trata de la revisión general del sistema previstas en el presupuesto anual, algo muy importante que no debe de pasar por alto, para el productor, ya que además de considerar los insumos para la producción no debe olvidar las refacciones del sistema de automatización. Se trata de una programación en la que se puede cuantificar, prever medios necesarios, tiempo de ejecución e incluso se dispone de elementos de juicio para determinar la fecha de comienzo, para no retrasar las fechas de siembra o plantación.

2º.- Existe una programación a medio plazo (mensual) en la que se puede prever diferentes fallas al sistema y que tiene que ver con los elementos mecánicos del sistema principalmente de control.

3º.- Por último, es imprescindible realizar una programación a corto plazo (semanal), dónde se desarrolla y concreta el programa anterior (mensual) y en el que se insertan los trabajos urgentes e imprevistos. Es decir, el que tiene que ver con fallas mecánicas de algún componente del sistema, que pueden producirse debido a las propias condiciones en las que se opera en una zona expuesta o a la intemperie, como por ejemplo en el caso del sistema de apertura y cierre de cortinas y de los motores de los ventiladores.

Durante el diagnóstico de falla, se observó que la señal de salida para todos los sistemas debe ser revisada mensualmente, así como la calibración de los controles. Específicamente para la válvula solenoide, los goteros del sistema de riego y los nebulizadores y el generador de vapor del sistema de humedad relativa, la limpieza mensual, es una de las operaciones fundamentales para el funcionamiento óptimo del sistema.

En cualquier caso, dada la variabilidad de los tiempos y la importancia en el logro de los objetivos de mantenimiento, es imprescindible para que funcione adecuadamente la programación, considerar: la lista de operaciones que deben realizarse semanal, mensual, semestral y de inicio de ciclo, seguir día a día la evolución de los trabajos y la carga pendiente, de manera que la planificación esté permanentemente actualizada a través de las bitácoras de mantenimiento.

VIII. CONCLUSIONES.

Para que exista un buen control en los sistemas automatizados, es esencial, dependiendo del sistema de control, identificar los tipos de falla que representan un mayor riesgo, para posteriormente seleccionar la mejor tarea de mantenimiento, ya sea preventiva, predictiva, correctiva o en su caso tomar acciones adicionales o complementarias.

Un programa de mantenimiento es una herramienta que permite determinar el estado real de operación de cualquier sistema en el que se aplique. De estos programas se determinan fallas potenciales para disminuir el paro de operaciones, elevar la productividad y reducir los costos de mantenimiento por avería.

El mantenimiento enfocado en los modos de falla derivados de un análisis funcional y no enfocado en los equipos, permite optimizar los recursos cuando se realiza durante la planeación de la producción.

El mantenimiento de un sistema de automatización en un invernadero debe realizarse en forma periódica, verificando el ajuste de los sensores y actuadores, en particular y específico para cada instalación.

El conocer las partes y el funcionamiento del sistema de automatización permite reconocer de forma inmediata las posibles fallas del sistema.

El método de reconocimiento de falla, es un procedimiento básico para generar un programa de mantenimiento.

El mantenimiento preventivo del sistema automatizado genera la certeza del control adecuado de los parámetros que deben ser monitoreados para mantener las condiciones adecuadas de producción.

IX. RECOMENDACIONES.

- Realizar un calendario de actividades de acuerdo al nivel de automatización que se tenga para el mantenimiento necesario.
- Al adquirir un equipo o maquinaria es importante leer y guardar como obra de consulta los instructivos para tomar en cuenta los servicios de mantenimiento que recomienda el fabricante y poder hacer válida la garantía.
- Cada vez que se inicie un nuevo ciclo de producción se deberán ajustar los valores de consigna de las variables a monitorear, haciendo funcionar todo el sistema en su totalidad para verificar el buen funcionamiento.
- Tener identificado al técnico y a los centros de servicio encargados de darle mantenimiento a los equipos antes de que se requiera de sus servicios, de tal manera que se pueda ahorrar tiempo en su reparación.

X. BIBLIOGRAFÍA.

Bastida, T., A., A. J., Ramírez. 1999. Invernaderos en México, Diseño, Construcción y Manejo. Chapingo, México.

Benavente, R. M., García J. L., Pator M., Luna L., Nolasco J., 2000. Sistemas para la Automatización de los Invernaderos. Vida Rural No. 118

Bernat, C., J. J. Andrés, J. Martínez. 2007. Invernaderos Construcción, Manejo, Rentabilidad. Editorial AEDOS España.

Castilla, N., 2005. Invernaderos de Plástico Tecnología y Mantenimiento Ediciones Mundi-Prensa Madrid, España.

EFNMS, 1970 European Federation of National Maintenance Societies <http://www.efnms.org/>

López, J. C. y P. Lorenzo 2005. Incorporación de Tecnología al Invernadero Mediterráneo. Editorial CAJAMAR Almería España.

Matallana, G. A. y C. J. I., Montero 1988. Invernaderos, Diseño, construcción y ambientación. Madrid, España.

Miranda, T. 2008. Diseño de un Sistema de Control Automático para Temperatura y Humedad Relativa y Riego en Invernadero. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillos Edo. De México.

Montero, J. I., M. A., Antón 1993. Tecnología del Invernadero. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Buenos Aires.

Padovani, L. 2003. Ingeniería en Automatización y Control Industrial. España.

Piedrafita, M.R., 2004. Ingeniería de la Automatización Industrial. Madrid, España.

Rivera, M. J., 2007 Instrumentación en México.

Rodríguez, D. F., B. S., Manuel. 2004. Control y Robótica en la Agricultura Universidad de Almería. Almería España.

Salvendy. G. 2004. Ingeniería Industrial. México

Serres de France-Richel. 1997. Normalización de Invernaderos. México.

Tognoni F., Alpi A., 1999. Cultivo en Invernadero. Madrid, España.

Torres N. H. 1997. Apuntes del curso Diseño, construcción y manejo de invernaderos. UACH. Chapingo, México.

Verde, M. 2010 Microcontroladores PIC-Programación en Basic, USA

Vigouroux, R. 1998. Crianza de plántulas en invernadero. Memoria del IV ciclo de conferencias sobre producción en invernaderos y segundo congreso Iberoamericano de plásticos en la agricultura. Guadalajara, México.

Serrano, Z. C., 1994. Construcción de Invernaderos. Madrid, España.

Serrano, Z. C. 1993. Invernaderos, Instalación y Manejo. Madrid, España.

2000Agro Revista industrial del campo Junio 1 del 2006. Invernaderos de nivel a nivel. Agroindustria. <http://www.2000agro.com.mx/>

XI. ANEXO

BITACORA DE MANTENIMIENTO PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA

LISTA DE OPERACIONES					
CONCEPTO	FICHA DE REVISIÓN	SEMANTAL	MENSUAL	SEMESTRAL	INICIO DE CICLO
SENSOR DE TEMPERTAURA:	AJUSTE DE POSICIÓN			X	X
	LIMPIEZA			X	X
	VERIFICAIÓN DE SEÑAL			X	X
CONTROL DE TEMPERATURA	CALIBRACIÓN		X		X
	SALIDA DE SEÑAL		X		X
AMPLIFICADORES DE SEÑAL	AJUSTE DE TERMINALES DE CONEXIÓN			X	X
	LIMPIEZA DEL PANEL			X	X
VENTILACIÓN	CORTINAS	X			X
	VENTILADORES LUBRICACIÓN			X	X
	REVISIÓN DE RUIDO	X		X	X
	LIMPIEZA			X	X
CALEFACCIÓN	NIVEL DE COMBUSTIBLE		X		X
	LUBRICACIÓN			X	X
	SISTEMA DE SEGURIDAD			X	X
	LIMPIEZA			X	X
	CALIBRACIÓN			X	X

OBSERVACIO DEL SISTEMA:

TÉCNICO: _____

INVERNADERO: _____

FECHA DE REVISIÓN: _____

UBICACIÓN: _____

BITACORA DE MANTENIMIENTO PARA EL CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA

LISTA DE OPERACIONES					
CONCEPTO	FICHA DE REVISIÓN	SEMANAL	MENSUAL	SEMESTRAL	INICIO DE CICLO
SENSOR DE HUMEDAD:	AJUSTE DE POSICIÓN			X	X
	LIMPIEZA			X	X
	VERIFICAIÓN DE SEÑAL		X		X
CONTROL DE HUMEDAD	CALIBRACIÓN		X		X
	SALIDA DE SEÑAL		X		X
AMPLIFICADORES DE SEÑAL	AJUSTE DE TERMINALES DE CONEXIÓN			X	X
	LIMPIEZA DEL PANEL			X	X
MOTOBOMBA	PURGA		X	X	X
	LUBRICACIÓN			X	X
	REVISIÓN DE RUIDO	X		X	X
	LIMPIEZA			X	X
VÁLVULA SOLENOIDE	CALIBRACIÓN		X		X
	LIMPIEZA			X	X
NEBULIZADORES	AJUSTE DE POSICIÓN		X		X
	LIMPIEZA		X		X
	DRENADO DEL SISTEMA		X		X
GENERADOR DE VAPOR	CALIBRACIÓN		X		X
	LIMPIEZA		X		X

OBSERVACIO DEL SISTEMA:

TÉCNICO: _____

INVERNADERO: _____

FECHA DE REVISIÓN: _____

UBICACIÓN: _____

BITACORA DE MANTENIMIENTO PARA EL CONTROL DE RIEGO

LISTA DE OPERACIONES					
CONCEPTO	FICHA DE REVISIÓN	SEMANAL	MENSUAL	SEMESTRAL	INICIO DE CICLO
SENSOR DE RIEGO:	AJUSTE DE POSICIÓN			X	X
	LIMPIEZA			X	X
	VERIFICAIÓN DE SEÑAL		X		X
CONTROL DE RIEGO	CALIBRACIÓN		X		X
	SALIDA DE SEÑAL		X		X
AMPLIFICADORES DE SEÑAL	AJUSTE DE TERMINALES DE CONEXIÓN			X	X
	LIMPIEZA DEL PANEL			X	X
MOTOBOMBA	PURGA		X	X	X
	LUBRICACIÓN			X	X
	REVISIÓN DE RUIDO	X		X	X
	LIMPIEZA			X	X
VÁLVULA SOLENOIDE	CALIBRACIÓN		X		X
	LIMPIEZA		X		X
GOTEROS	AJUSTE DE POSICIÓN		X		X
	LIMPIEZA		X		X
	DRENADO DEL SISTEMA		X		X

OBSERVACIO DEL SISTEMA:

TÉCNICO: _____

INVERNADERO: _____

FECHA DE REVISIÓ _____

UBICACIÓN: _____

BITACORA DE MANTENIMIENTO PARA EL CONTROL DE LUZ

LISTA DE OPERACIONES					
CONCEPTO	FICHA DE REVISIÓN	SEMANAL	MENSUAL	SEMESTRAL	INICIO DE CICLO
SENSOR DE LUZ:	AJUSTE DE POSICIÓN			X	X
	LIMPIEZA			X	X
	VERIFICAIÓN DE SEÑAL			X	X
CONTROL DE LUZ	CALIBRACIÓN		X		X
	SALIDA DE SEÑAL		X		X
AMPLIFICADORES DE SEÑAL	AJUSTE DE TERMINALES DE CONEXIÓN			X	X
	LIMPIEZA DEL PANEL			X	X
CORTINAS	AJUSTE	X		X	X
	MOTORES LUBRICACIÓN			X	X
	LIMPIEZA			X	X
LAMPARAS	AJUSTE		X		X
	CALIBRACIÓN		X		X
	LIMPIEZA		X		X

OBSERVACIO DEL SISTEMA:

TÉCNICO: _____

INVERNADERO: _____

FECHA DE REVISIÓN: _____

UBICACIÓN: _____

BITACORA DE MANTENIMIENTO PARA EL CONTROL DE CO₂

LISTA DE OPERACIONES					
CONCEPTO	FICHA DE REVISIÓN	SEMANTAL	MENSUAL	SEMESTRAL	INICIO DE CICLO
SENSOR DE CO ₂	AJUSTE DE POSICIÓN			X	X
	LIMPIEZA			X	X
	VERIFICAIÓN DE SEÑAL			X	X
CONTROL DE CO ₂	CALIBRACIÓN		X		X
	SALIDA DE SEÑAL		X		X
AMPLIFICADORES DE SEÑAL	AJUSTE DE TERMINALES DE CONEXIÓN			X	X
	LIMPIEZA DEL PANEL			X	X
DOSIFICADOR	NIVEL DE CO ₂		X		X
	CALIBRACIÓN			X	X
	LIMPIEZA			X	X

OBSERVACIO DEL SISTEMA:

TÉCNICO: _____

INVERNADERO: _____

FECHA DE REVISIÓN: _____

UBICACIÓN: _____

BITACORA DE MANTENIMIENTO PARA EL CONTROL INTEGRAL

LISTA DE OPERACIONES					
CONCEPTO	FICHA DE REVISIÓN	SEMANTAL	MENSUAL	SEMESTRAL	INICIO DE CICLO
SENSORES:	AJUSTE DE POSICIÓN			X	X
	LIMPIEZA			X	X
	VERIFICAIÓN DE SEÑAL			X	X
CONTROLADORES	CALIBRACIÓN		X		X
	SALIDA DE SEÑAL		X		X
AMPLIFICADORES DE SEÑAL	AJUSTE DE TERMINALES DE CONEXIÓN			X	X
	LIMPIEZA DEL PANEL			X	X
ACTUADORES	VENTILACIÓN				X
	CALEFACCIÓN			X	X
	RIEGO				X
	CO ₂			X	X
	LUZ			X	X

OBSERVACIO DEL SISTEMA:

TÉCNICO: _____
 INVERNADERO: _____

FECHA DE REVISIÓN: _____
 UBICACIÓN: _____