



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN  
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE  
CONTROL DE RIEGO PARA LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL - ESPOCH”**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES  
INDUSTRIALES**

**Presentado por:**

**CARLOS GABRIEL EIBAR BEJARANO**

**VINICIO LUIS SILVA ESCOBAR**

**Riobamba – Ecuador**

**2012**

## **AGRADECIMIENTO**

Expresamos nuestro más grande y sincero agradecimiento en primer lugar a Dios por habernos guiado durante nuestra preparación profesional alcanzando el objetivo que nos planteamos al inicio de nuestros estudios, al igual que aquellos que nos han brindado su confianza para la realización de este proyecto como es Ing. Paúl Romero e Ing. Jorge Paucar.

Debemos dar también un agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales y a los docentes que supieron impartirnos sus conocimientos profesionales y sus experiencias en su vida laboral.

La educación es la mejor herencia que pueden dar los padres a sus hijos; por eso nuestro grato agradecimiento a ellos y a nuestras familias por su apoyo incondicional en los momentos que más los necesitamos constituyendo el pilar fundamental para este logro alcanzado.

## **DEDICATORIA**

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido salir adelante, pero más que nada, por su amor.

**Vinicio**

Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y nunca dejarme bajar los brazos brindándome siempre su apoyo incondicional. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos y hacer de este sueño una hermosa realidad.

**Carlos**

## FIRMAS DE RESPONSABLES Y NOTA

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
<b>Ing. Iván Menes DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA</b>	.....	.....
<b>Ing. Paúl Romero DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES</b>	.....	.....
<b>Ing. Paúl Romero DIRECTOR DE TESIS.</b>	.....	.....
<b>Ing. Jorge Paucar MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	.....	.....
<b>Tec. Carlos Rodríguez Carpio DIRECTOR DPTO DOCUMENTACIÓN</b>	.....	.....
<b>NOTA DE LA TESIS</b>	.....	

## **TEXTO DE RESPONSABILIDAD**

**“Nosotros CARLOS GABRIEL EIBAR BEJARANO Y VINICIO LUIS SILVA ESCOBAR, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y, el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”.**

.....  
CARLOS GABRIEL EIBAR BEJARANO

.....  
VINICIO LUIS SILVA ESCOBAR

## **INDICE DE ABREVIATURAS**

<b>CER</b>	Centro Experimental del Riego
<b>PLC</b>	Controlador Lógico Programable
<b>EIE-CRI</b>	Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales.
<b>TD</b>	Digital Text
<b>MAGAP</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
<b>Cb</b>	Centibares
<b>PMP</b>	Punto de marchitamiento permanente
<b>CC</b>	Capacidad de Campo
<b>ADP</b>	Agua disponible para la planta
<b>DPM</b>	Déficit permitido en el manejo de riego
<b>MCA</b>	Metros de columna de Agua

## INDICE GENERAL

PORTADA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
FIRMAS DE RESPONSABILIDAD	
RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES	
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	

CAPITULO I .....	- 13 -
------------------	--------

INTRODUCCIÓN .....	
--------------------	--

1.1 Antecedentes.....	- 13 -
-----------------------	--------

1.2 Justificación .....	- 14 -
-------------------------	--------

1.3 Hipótesis .....	- 14 -
---------------------	--------

1.4 Objetivos.....	- 15 -
--------------------	--------

1.4.1 Objetivos Generales .....	- 15 -
---------------------------------	--------

1.4.2 Objetivos Específicos.....	- 15 -
----------------------------------	--------

CAPITULO II .....	
-------------------	--

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	
-----------------------------	--

2.1 Introducción.....	- 16 -
-----------------------	--------

2.2 ¿Qué es un invernadero?.....	- 16 -
----------------------------------	--------

2.3 Tipos De Invernaderos.....	- 17 -
--------------------------------	--------

2.3.1 Invernadero plano o tipo parral .....	- 17 -
---	--------

2.3.2 Invernadero en raspa y amagado .....	- 19 -
--	--------

2.3.3 Invernadero asimétrico o inacral .....	- 20 -
--	--------

2.3.4 Invernadero de capilla .....	- 21 -
------------------------------------	--------

2.3.5	Invernadero De Doble Capilla.....	- 22 -
2.3.6	Invernadero túnel o semicilíndrico.....	- 22 -
2.3.7	Invernaderos de cristal o tipo venlo.....	- 23 -
2.4	Factores Climáticos.....	- 24 -
2.4.1	Radiación solar.....	- 26 -
2.4.2	Temperatura .....	- 27 -
2.4.3	Anhídrido carbónico (CO <sub>2</sub> ) .....	- 28 -
2.4.4	Humedad del aire .....	- 28 -
2.4.5	Fotosíntesis y luz.....	- 29 -
2.4.6	Fotosíntesis y CO <sub>2</sub> .....	- 30 -
2.4.7	Fotosíntesis y temperatura del aire.....	- 30 -
2.5	El Riego y Humedad En El Suelo .....	- 30 -
2.5.1	Sistema de riego. ....	- 31 -
2.5.2	Métodos de riego.....	- 31 -
2.5.3	Clasificación de los métodos de riego.....	- 31 -
2.5.4	Técnicas para medir la humedad del suelo.....	- 33 -
2.6	Importancia De La Ventilación .....	- 38 -
2.7	Tipos de Controladores .....	- 41 -
2.7.1	Controlador Lógico Programable (PLC).....	- 41 -
2.7.2	Procesador Digital de Señales DSP.....	- 42 -
2.7.3	Microprocesadores .....	- 42 -
2.7.4	Microcontrolador PIC's .....	- 42 -
<b>CAPITULO III.....</b>		
<b>CENTRO EXPERIMENTAL DEL RIEGO .....</b>		
3.1	Reseña Del Centro Experimental Del Riego.....	- 44 -
3.1.1	Estructura Orgánica.....	- 44 -
3.1.2	Objetivo General .....	- 45 -

3.1.3	Objetivos Específicos.....	- 45 -
3.1.4	Servicios.....	- 46 -
3.1.5	Funciones .....	- 46 -
3.2	Especificaciones del Invernadero.....	- 47 -
3.3	Control y Componentes del Invernadero .....	- 48 -
3.3.1	Riego del invernadero .....	- 48 -
3.3.2	Cinta de Riego por goteo.....	- 50 -
3.3.3	Fertilización .....	- 51 -
3.3.4	Control De Temperatura .....	- 52 -
3.3.5	Malla de sombreo. ....	- 53 -
<b>CAPITULO IV.....</b>		
<b>DESARROLLO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN .....</b>		
4.1	Subsistema De Control De Humedad.....	- 55 -
4.1.1	Diagrama De Bloques Del Sistema De Control De Humedad .....	- 56 -
4.1.2	Ingreso de datos: .....	- 56 -
4.1.3	Sensor De Humedad De Suelo .....	- 57 -
4.1.4	Acondicionamiento De Entrada .....	- 57 -
4.1.5	Control De Humedad .....	- 59 -
4.1.6	Actuadores (electroválvulas).....	- 60 -
4.1.7	Acondicionamiento de salida .....	- 61 -
4.2	Subsistema De Control Temperatura .....	- 61 -
4.2.1	Diagrama De Bloques Del Sistema De Control De Temperatura .....	- 62 -
4.2.2	Sensor de Temperatura.....	- 62 -
4.2.3	Acondicionamiento De Entrada .....	- 63 -
4.2.4	Control De Temperatura .....	- 64 -
4.2.5	Actuador, Motor de ventanas: .....	- 66 -
4.2.6	Acondicionamiento de salida .....	- 68 -

CAPITULO V .....	
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN .....	
5.1 Etapa De Entrada .....	- 70 -
5.1.1 Temperatura .....	- 70 -
5.1.2 Humedad .....	- 71 -
5.2 Etapa De Control .....	- 73 -
5.2.1 Controlador Lógico Programable LOGO .....	- 73 -
5.2.2 Visualizador de Texto (LOGO TD) .....	- 75 -
5.2.3 Montaje .....	- 76 -
5.2.4 Conexiones y Cableado .....	- 77 -
5.2.5 Conexión de sensores .....	- 78 -
5.2.6 Conexión de las salidas .....	- 79 -
5.3 Etapa De Salida.....	- 79 -
5.3.1 Electroválvulas.....	- 79 -
5.3.2 Motor.....	- 81 -
5.4 Programación.....	- 81 -
5.4.1 Etapa De Accionamiento.....	- 81 -
5.4.2 Etapa De Visualización en Pantallas Del Logo Td.....	- 83 -
5.4.3 Etapa De Ingreso Y Modificación De Rangos .....	- 89 -
CAPITULO VI.....	
OBSERVACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	
6.1 Análisis Previo a la Automatización .....	- 90 -
6.1.1 Análisis de Temperatura.....	- 90 -
6.1.2 Análisis de Humedad del Suelo .....	- 92 -
6.2 Análisis de Resultados de la Automatización.....	- 94 -
6.2.1 Análisis de Temperatura.....	- 94 -
6.2.2 Análisis de humedad del Suelo .....	- 98 -

Conclusiones .....	- 100 -
Recomendaciones.....	- 101 -
Resumen.....	- 102 -

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 INVERNADEROS LLAMADOS "TIPO ALMERÍA O PARRA".....	- 17 -
FIGURA 2 INVERNADERO EN RASPA Y AMAGADO.....	- 19 -
FIGURA 3 INVERNADERO ASIMÉTRICO O INACRAL.....	- 20 -
FIGURA 4 INVERNADERO DE CAPILLA.....	- 21 -
FIGURA 5 ESQUEMA INVERNADERO DE DOBLE CAPILLA.....	- 22 -
FIGURA 6 DIAGRAMA DE INVERNADERO TIPO TÚNEL.....	- 22 -
FIGURA 7 INVERNADERO DE CRISTAL.....	- 23 -
FIGURA 8 RIEGO POR SUPERFICIE.....	- 32 -
FIGURA 9 RIEGO POR ASPERSIÓN.....	- 33 -
FIGURA 10 RIEGO LOCALIZADO.....	- 33 -
FIGURA 11 DIAGRAMA CON CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y TENSIÓN PARA SUELOS ARENOSOS, ARCILLOSOS Y FRANCO.....	- 34 -
FIGURA 12 DIAGRAMA DE UN INDICADOR DE HUMEDAD DE NEUTRONES (SONDA DE NEUTRONES).....	- 36 -
FIGURA 13 DIAGRAMA DE LOS BLOQUES DE RESISTENCIA.....	- 37 -
FIGURA 14 DIAGRAMA DE UN TENSÍOMETRO.....	- 38 -
FIGURA 15 AUTORIDADES EN INAUGURACIÓN DEL CENTRO RIEGO EXPERIMENTAL.....	- 44 -
FIGURA 16 FOTOGRAFÍA PARTE FRONTAL DEL INVERNADERO DEL CER.....	- 47 -
FIGURA 17 PLANO 3D DE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO.....	- 48 -
FIGURA 18 SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.....	- 49 -
FIGURA 19 AQUATRAXX VS CINTA NO AUTOCOMPENSADA.....	- 50 -
FIGURA 20 FUNCIONAMIENTO DE FERTILIZACIÓN POR SISTEMA VENTURI.....	- 51 -
FIGURA 21 SISTEMA MECÁNICO DE CORTINAS DEL INVERNADERO.....	- 52 -
FIGURA 22 ESQUEMA DE CONJUNTO DE ETAPAS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.....	- 54 -
FIGURA 23 ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE HUMEDAD DEL INVERNADERO DEL CER ESPOCH.....	- 55 -
FIGURA 24 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DE HUMEDAD DEL SUELO DEL INVERNADERO.....	- 56 -
FIGURA 25 ESQUEMA CONFIGURACIÓN DE VALORES PARA LA HISTÉRESIS.....	- 56 -
FIGURA 26 SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO WATERMARK.....	- 57 -
FIGURA 27 DIAGRAMA DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL (0-10 V) DEL SENSOR DE HUMEDAD.....	- 58 -
FIGURA 28 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE CONTROL DE HUMEDAD DEL INVERNADERO.....	- 59 -
FIGURA 29 ELECTROVÁLVULA BERMAND.....	- 60 -
FIGURA 30 ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA DEL INVERNADERO DEL CER.....	- 61 -
FIGURA 31 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DE TEMPERATURA DEL INTERIOR DEL INVERNADERO.....	- 62 -
FIGURA 32 CIRCUITO AMPLIFICADOR PARA EL SENSOR DE HUMEDAD DEL SUELO.....	- 63 -
FIGURA 33 DIAGRAMA DE FLUJO DE CONTROL DE TEMPERATURA.....	- 65 -
FIGURA 34 DIAGRAMA DE FUERZAS EN SISTEMA DE ELEVACIÓN DE PERSIANA.....	- 66 -
FIGURA 35 ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LOS CONTACTORES PARA EL CAMBIO DE GIRO DEL MOTOR DE LA VENTANA.....	- 68 -
FIGURA 36 DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN CER.....	- 70 -
FIGURA 37 CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DEL SENSOR DE HUMEDAD.....	- 71 -
FIGURA 38 SENSOR DE HUMEDAD WATERMARK MR.....	- 72 -
FIGURA 39 CIRCUITO ACONDICIONADOR DEL SENSOR DE HUMEDAD.....	- 73 -
FIGURA 40 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL LOGO.....	- 74 -
FIGURA 41 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL LOGO TD.....	- 75 -

FIGURA 42 PASOS DE MONTAJE LOGO.....	- 76 -
FIGURA 43 PASOS DE MONTAJE LOGO TD .....	- 77 -
FIGURA 44CONEXIÓN LOGO TD A FUENTE.....	- 78 -
FIGURA 45 CONEXIÓN DE SENSORES AL LOGO .....	- 78 -
FIGURA 46 CONEXIÓN DE SALIDAS DE LOGO .....	- 79 -
FIGURA 47 ESTADOS DE LA ELECTROVÁLVULA BERMAND .....	- 80 -
FIGURA 48 PROGRAMACIÓN PARA EL ACCIONAMIENTO DEL MOTOR PARA VENTANAS .....	- 82 -
FIGURA 49 PROGRAMACIÓN DEL ACCIONAMIENTO DE VÁLVULAS .....	- 83 -
FIGURA 50 PANTALLA DE PRESENTACIÓN .....	- 84 -
FIGURA 51 PROGRAMACION DE PANTALLAS DE CONGIFURACIÓN .....	- 85 -
FIGURA 52 CONFIGURACIÓN DE PANTALLA DE PRESENTACIÓN.....	- 86 -
FIGURA 53 CONFIGURACIÓN DE PANTALLA DE TEMPERATURA RANGO MÁXIMO.....	- 86 -
FIGURA 54 CONFIGURACIÓN DE PANTALLA DE TEMPERATURA RANGO MÍNIMO .....	- 86 -
FIGURA 55 CONFIGURACIÓN DE PANTALLA DE HUMEDAD RANGO MÁXIMO.....	- 86 -
FIGURA 56 CONFIGURACIÓN DE PANTALLA DE HUMEDAD RANGO MÍNIMO .....	- 87 -
FIGURA 57 CONFIGURACION DE PANTALLA DE INTERVALO DE FERTIRIEGO .....	- 87 -
FIGURA 58 CONFIGURACION DE PANTALLA DE TIEMPO DE FERTIRIEGO.....	- 87 -
FIGURA 59 PROGRAMACIÓN PANTALLAS DE ESTADO .....	- 88 -
FIGURA 60 PANTALLAS DE ESTADO.....	- 88 -
FIGURA 61 PROGRAMACIÓN DE INGRESO DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS .....	- 89 -
FIGURA 62 GRÁFICA DE TEMPERATURA DE 9:00 A 11:00 .....	- 91 -
FIGURA 63 GRÁFICA DE TEMPERATURA DE 14:00 A 16:00. ....	- 92 -
FIGURA 64 GRÁFICAS DE HUMEDAD DE 9:00 EN 11:00.....	- 93 -
FIGURA 65 GRÁFICAS DE HUMEDAD DE 14:00 EN 16:00.....	- 94 -
FIGURA 66 GRÁFICA DE TEMPERATURA (DÍA TEMPLADO) .....	- 96 -
FIGURA 67 GRÁFICA DE TEMPERATURA (DÍA CÁLIDO).....	- 97 -
FIGURA 68 GRAFICA DE HUMEDAD.....	- 99 -

## INDICE DE TABLAS

TABLA I: NIVELES CLIMÁTICOS EN INVERNADERO (TESI, 1972) .....	- 28 -
TABLA II CARACTERÍSTICAS DE LA ELECTROVÁLVULA BERMAND 210 .....	- 80 -
TABLA III ESPECIFICACIONES DEL MOTOR .....	- 81 -
TABLA IV LECTURAS DE TEMPERATURA OBTENIDAS EL 15 DE SEPTIEMBRE DEL 2012.....	- 91 -
TABLA V LECTURAS DE HUMEDAD OBTENIDAS EL 15 DE SEPTIEMBRE DEL 2012.....	- 93 -
TABLA VI LECTURAS DE TEMPERATURA ADQUIRIDAS EL 30 DE OCTUBRE DEL 2012.....	- 95 -
TABLA VII LECTURAS DE TEMPERATURA ADQUIRIDAS EL 03 DE SEPTIEMBRE DEL 2012.....	- 97 -
TABLA VIII LECTURAS DE HUMEDAD ADQUIRIDAS EL 30 DE OCTUBRE DEL 2012.....	- 98 -

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se desarrolla proyectos investigativos en el área de Agronomía, cuyos resultados ayudan al desarrollo de la producción agrícola del país, investigación que se desarrolla en varios invernaderos, que actualmente son controlados en forma manual, de acuerdo a la observación de los parámetros ambientales significativos del proceso por parte del usuario u operador, con los consiguientes problemas como susceptibilidad al error humano, falta de control a tiempo completo en fines de semana, altos costos, falta de personal y desperdicio del agua de riego.

El agua evaporada del suelo o absorbida por las plantas debe reponerse periódicamente mediante el riego, los beneficios obtenidos en la calidad y cantidad de la producción dependen directamente de este factor, de ahí la importancia del estudio de la influencia de los distintos factores que intervienen para la optimización y mejora de la producción.

El controlar la humedad del suelo, al igual que la temperatura, con los medio necesarios, en forma oportuna y uniforme, que satisfaga el requerimiento hídrico y térmico de los cultivos, con un criterio conservacionista de los recursos es el fin del presente trabajo. La temperatura y el riego son importantes porque tanto el exceso como la escasez de uno de estos factores durante un tiempo prolongado, restringen el crecimiento óptimo de los cultivos.

## **1.2 Justificación**

La producción agrícola es una actividad de vital importancia como base fundamental en el desarrollo autosuficiente e independencia alimenticia de las sociedades. Todas las actividades económicas que abarca la agricultura, tienen su fundamento en la explotación del suelo o de los recursos que este origina, de ahí lo importante que es el ahorro de los mismos para su posterior preservación.

Lo que se busca en el desarrollo del proyecto es la obtención de un sistema de control que mantenga la temperatura interna y la humedad del suelo dentro de ciertos rangos deseados y ajustados por el operador. Además, de presentar información al usuario que se considere de interés, como temperatura y humedad en tiempo real y su fluctuación a lo largo de la jornada, apertura de las ventanas, inicio de riegos o posibles errores acontecidos.

Con ésta información, se puede realizar un estudio minucioso del comportamiento global de los cultivos que son investigados en el CER, con el objetivo de producir mejoras en la producción agrícola del país, ya que al ser el primer Centro Experimental de Riego del País tiene la responsabilidad de originar por medio de la investigación nuevos datos, que asistan el mejoramiento en la cantidad y calidad de cultivos, además de descubrir sus limitaciones o percatarse de sus necesidades.

## **1.3 Hipótesis**

Mediante los parámetros climáticos en el invernadero que se obtendrán por medio de sensores, y señales eléctricas transmitidas al Controlador Lógico Programable, se permitirá el control de los actuadores ya sea la válvula para el control del agua o fertiriego y del motor para la apertura de persianas, con lo cual se logrará satisfacer con las condiciones climáticas requeridas en las distintas investigaciones que se realice en el invernadero del CER.

Asimismo el PLC hará un control On/Off de las variables que intervienen en esta investigación en los rangos seleccionados e ingresados por el operador (investigador).

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivos Generales**

Diseñar e implementar un sistema para automatizar el control tanto del riego como de la temperatura del invernadero del “Centro Experimental del Riego”, con la capacidad de ser configurables las variables físicas deseadas de temperatura, de humedad y fertiriego.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar un sistema de control óptimo de riego automático, de acuerdo a la humedad del suelo configurada por el investigador.
- Diseñar un sistema automático de control de temperatura, de acuerdo a valores ingresados por el investigador al sistema.
- Diseñar una interfaz sencilla a los requerimientos del usuario, donde se pueda configurar y visualizar los distintos parámetros del proceso, para fines propios de la investigación del invernadero.

## **CAPITULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.1 Introducción**

El presente capítulo proporciona al lector una idea más clara acerca de las diferentes variables involucradas en la estabilización de un microclima dentro de un invernadero, además de las opciones para poder automatizar el control de estas variables en el Centro Experimental del Riego.

La agricultura en el país, hoy en día busca mejorar su productividad, para ello el Centro experimental del Riego desarrolla investigaciones cuyos resultados podrán ayudar en esta búsqueda, para ello la importancia del control de la ambientación climática desarrollada en este trabajo.

#### **2.2 ¿Qué es un invernadero?**

Un invernadero es un espacio con el microclima apropiado para el óptimo desarrollo de una plantación. Partiendo de un estudio técnico de ambientación climática, es necesario obtener en él, la temperatura, la humedad relativa y la ventilación apropiadas para alcanzar alta productividad a bajo costo, en menos tiempo, sin daño ambiental.

### 2.3 Tipos De Invernaderos

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

- a) Topografía. Son preferibles lugares con pequeña pendiente orientados de norte a sur.
- b) Vientos. Se tomarán en cuenta la dirección, intensidad y velocidad de los vientos dominantes.
- c) Exigencias bioclimáticas de la especie en cultivo
- d) Características climáticas de la zona o del área geográfica donde vaya a construirse el invernadero
- e) Disponibilidad de mano de obra (factor humano)
- f) Imperativos económicos locales (mercado y comercialización).

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

- Planos o tipo parral.
- Tipo raspa y amagado.
- Asimétricos.
- Capilla (a dos aguas, a un agua)
- Doble capilla
- Tipo túnel o semicilíndrico.
- De cristal o tipo Venlo.

#### 2.3.1 Invernadero plano o tipo parral



Figura 1 Invernaderos llamados "Tipo Almería o Parra"

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

#### 2.3.1.1 La estructura vertical.

Está constituida por soportes rígidos que se pueden diferenciar según sean perimetrales (soportes de cerco situados en las bandas y los esquineros) o interiores (pies derechos). Los pies derechos intermedios suelen estar separados unos 2 m en sentido longitudinal y 4m en dirección transversal, aunque también se presentan separaciones de 2x2 y 3x4.

Los soportes perimetrales tienen una inclinación hacia el exterior de aproximadamente 30° con respecto a la vertical y junto con los vientos que sujetan su extremo superior sirven para tensar las cordadas de alambre de la cubierta. Estos apoyos generalmente tienen una separación de 2 m aunque en algunos casos se utilizan distancias de 1,5 m. Tanto los apoyos exteriores como interiores pueden ser rollizos de pino o eucalipto y tubos de acero galvanizado.

#### 2.3.1.2 La estructura horizontal

Está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, implantadas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero y que sirven para portar y sujetar la lámina de plástico.

Los invernaderos planos<sup>1</sup> tienen una altura de cubierta que varía entre 2,15 y 3,5 m y la altura de las bandas oscila entre 2 y 2,7 m. Los soportes del invernadero se apoyan en bloques tronco piramidales, prefabricados de hormigón y colocados sobre pequeños pozos de cimentación.

Las principales ventajas de los invernaderos planos son: su economía de construcción,

---

<sup>1</sup> [http://canales.ideal.es/canalagro/datos/industria\\_auxiliar/tipo\\_invernaderos2.htm#2](http://canales.ideal.es/canalagro/datos/industria_auxiliar/tipo_invernaderos2.htm#2). INVERNADERO PLANO O TIPO PARRAL.

mayor resistencia al viento, aprovecha el agua de lluvia en periodos secos, presenta una gran uniformidad luminosa.

Las desventajas que presenta son: poco volumen de aire, mala ventilación, rápido envejecimiento de la instalación, poco o nada aconsejable en los lugares lluviosos y dificultad en las labores de cultivo por el excesivo número de postes, alambre de los vientos, piedras de anclaje, etc.

### 2.3.2 Invernadero en raspa y amagado<sup>2</sup>



Figura 2 Invernadero en raspa y amagado.

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

La separación entre apoyos y los vientos del amagado es de 2x4 y el ángulo de la cubierta oscila entre 6 y 20°, siendo este último el valor óptimo. La orientación recomendada es en dirección este-oeste.

---

<sup>2</sup> [http://canales.ideal.es/canalagro/datos/industria\\_auxiliar/tipo\\_invernaderos3.htm#3](http://canales.ideal.es/canalagro/datos/industria_auxiliar/tipo_invernaderos3.htm#3). INVERNADERO EN RASPA Y AMAGADO.

Las ventajas de estos invernaderos son: su economía, tiene mayor volumen unitario y por tanto una mayor inercia térmica que aumenta la temperatura nocturna con respecto a los invernaderos planos, presenta buena estanqueidad a la lluvia y al aire.

Inconvenientes: diferencias de luminosidad entre la vertiente sur y la norte del invernadero.

### 2.3.3 Invernadero asimétrico o inacral<sup>3</sup>

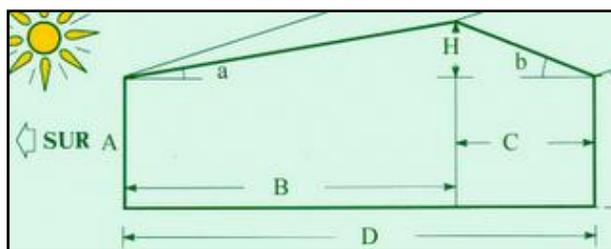


Figura 3 Invernadero asimétrico o inacral.

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

La inclinación de la cubierta debe ser aquella que permita que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la cubierta al mediodía solar durante el solsticio de invierno, época en la que el sol alcanza su punto más bajo.

Este ángulo deberá ser próximo a  $60^\circ$  pero ocasiona grandes inconvenientes por la inestabilidad de la estructura a los fuertes vientos. Por ello se han tomado ángulo comprendidos entre los  $8$  y  $11^\circ$  en la cara sur y entre los  $18$  y  $30^\circ$  en la cara norte.

La altura máxima de la cumbrera varía entre  $3$  y  $5$  m, y su altura mínima de  $2,3$  a  $3$  m. La altura de las bandas oscila entre  $2,15$  y  $3$  m. La separación de los apoyos interiores suele ser de  $2 \times 4$  m.

---

<sup>3</sup> [http://canales.ideal.es/canalagro/datos/industria\\_auxiliar/tipo\\_invernaderos3.htm#4](http://canales.ideal.es/canalagro/datos/industria_auxiliar/tipo_invernaderos3.htm#4). INVERNADERO ASIMÉTRICO O INACRAL.

Ventajas: Buen aprovechamiento de la luz, su economía, elevada inercia térmica, es estanco a la lluvia y al aire y buena ventilación

Inconvenientes: no aprovecha el agua de lluvia se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.

#### 2.3.4 Invernadero de capilla<sup>4</sup>



Figura 4 Invernadero de capilla.

Los invernaderos de capilla simple tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas.

Este tipo de invernadero se utiliza bastante, destacando las siguientes ventajas:

- Es de fácil construcción y de fácil conservación.
- Es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta.
- La ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con mecanización sencilla. También resulta fácil la instalación de ventanas cenitales.
- Tiene grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia.
- Permite la unión de varias naves en batería.

La anchura que suele darse a estos invernaderos es de 12 a 16 metros. La altura en cumbre está comprendida entre 3,25 y 4 metros.

Si la inclinación de los planos de la techumbre es mayor a 25° no ofrecen inconvenientes en la evacuación del agua de lluvia.

---

<sup>4</sup> [http://canales.ideal.es/canalagro/datos/industria\\_auxiliar/tipo\\_invernaderos4.htm](http://canales.ideal.es/canalagro/datos/industria_auxiliar/tipo_invernaderos4.htm)

La ventilación es por ventanas frontales y laterales. Cuando se trata de estructuras formadas por varias naves unidas la ausencia de ventanas cenitales dificulta la ventilación.

### 2.3.5 Invernadero De Doble Capilla

Los invernaderos de doble capilla están formados por dos naves yuxtapuestas<sup>5</sup>. Su ventilación es mejor que en otros tipos de invernadero, debido a la ventilación cenital que tienen en cumbre de los dos escalones que forma la yuxtaposición de las dos naves; estas aberturas de ventilación suelen permanecer abiertas constantemente y suele ponerse en ellas malla mosquitera. Además también poseen ventilación vertical en las paredes frontales y laterales.

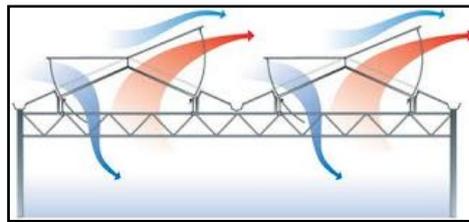


Figura 5 Esquema invernadero de doble capilla.

Este tipo de invernadero no está muy extendido debido a que su construcción es más dificultosa y cara que el tipo de invernadero capilla simple a dos aguas.

### 2.3.6 Invernadero túnel o semicilíndrico

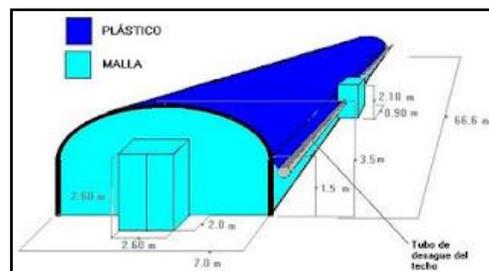


Figura 6 Diagrama de invernadero tipo túnel.

---

<sup>5</sup> Yuxtaponer, Poner una cosa junto a otra o inmediata a ella

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

Los soportes son de tubos de hierro galvanizado y tienen una separación interior de 5x8 o 3x5 m. La altura máxima de este tipo de invernaderos oscila entre 3,5 y 5 m. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2,5 a 4 m.

El ancho de estas naves está comprendido entre 6 y 9 m y permiten el adosamiento de varias naves en batería. La ventilación es mediante ventanas cenitales que se abren hacia el exterior del invernadero.

Ventajas de los invernaderos tipo túnel:

- Estructuras con pocos obstáculos en su estructura.
- Buena ventilación.
- Buena estanqueidad a la lluvia y al aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento y facilita su accionamiento mecanizado.
- Buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Fácil instalación.

Inconvenientes:

- Elevado coste.
- No aprovecha el agua de lluvia.

### **2.3.7 Invernaderos de cristal o tipo venlo.**



Figura 7 Invernadero de cristal.

Este tipo de invernadero, también llamado Venlo, es de estructura metálica prefabricada con cubierta de vidrio y se emplean generalmente en el Norte de Europa.

El techo de este invernadero industrial está formado por paneles de vidrio que descansan sobre los canales de recogida de pluviales y sobre un conjunto de barras transversales. La anchura de cada módulo es de 3,2 m. Desde los canales hasta la cumbrera hay un solo panel de vidrio de una longitud de 1,65 m y anchura que varía desde 0,75 m hasta 1,6 m.

La separación entre columnas en la dirección paralela a las canales es de 3m. En sentido transversal están separadas 3,2 m si hay una línea de columnas debajo de cada canal, o 6,4 m si se construye algún tipo de viga en celosía.

Ventajas:

- Buena estanqueidad lo que facilita una mejor climatización de los invernaderos.

Inconvenientes:

- La abundancia de elementos estructurales implica una menor transmisión de luz.
- Su elevado coste.
- Naves muy pequeñas debido a la complejidad de su estructura.

## 2.4 Factores Climáticos<sup>6</sup>

En la producción agrícola intervienen muchas variables que participan en procesos físicos y biológicos y por lo tanto el número de factores que es necesario regular en un invernadero es grande, temperaturas del aire y sustrato, humedad, CO<sub>2</sub>, luz, pH, CE, etc.

Existen además interacciones entre muchas de estas variables y regular su combinación óptima no es posible sino con la ayuda de sistemas más capaces y complejos, con posibilidad de llevar algoritmos de control que integran o relacionan varias variables climáticas y de usar modelos que faciliten la predicción del comportamiento del sistema ante las diversas condiciones posibles, con lo cual la regulación del clima se puede hacer con mayor precisión y estabilidad, que hasta hace poco no se habían generalizado en este sector.

---

<sup>6</sup> [http://www.invernadero.8m.net/capitulo1.html#\\_Toc495500838](http://www.invernadero.8m.net/capitulo1.html#_Toc495500838)

El objetivo es conseguir los niveles convenientes de temperatura, de humedad, luz, CO<sub>2</sub> no limitante, para lo que frecuentemente se necesita la actuación combinada de los equipos del invernadero, como es el caso de la apertura controlada de las ventanas y, cuando se produce un exceso de humedad ambiente, que es conveniente eliminar.

La introducción de la informática ha permitido proponer sistemas de control que son capaces de manejar algoritmos con niveles de consignas de varias variables climáticas importantes para el cultivo, así como de instrucciones para la actuación de los equipos de climatización de modo combinado y jerarquizado.

El reto actual es conseguir optimizar estas herramientas de decisión y manejo con la mayor simplicidad posible, para que el investigador disponga de la información que necesita de modo sintético, sin sentirse desbordado.

Asimismo los sistemas de control deberían complementarse con medios y datos de tipo biológico y, particularmente, fisiológico, que sirvan para obtener informaciones prácticas sobre el estado del cultivo, que ayuden a su manejo.

Bajo el punto de vista de la producción de cultivos, el ambiente ecológico, el hábitat, es el resultado de una combinación de efectos de los subsistemas clima, suelo y factores bióticos.

En lo que al subsistema clima se refiere, los elementos que lo conforman son radiación (irradiancia, radiación incidente), temperatura (efectos de medias y extremas, ciclos diurnos y estacionales, fluctuaciones térmicas), agua (humedad del aire), viento (velocidad media, velocidad extrema, dirección), concentración de CO<sub>2</sub> y contaminación del aire.

Para un crecimiento y desarrollo óptimos, los factores ambientales que intervienen en los procesos que dan lugar a los mismos (fotosíntesis, transpiración, respiración, absorción de agua y elementos minerales, y su transporte), deben ajustarse a unos niveles considerados como óptimos ya que de la interrelación que haya entre ellos dependerá la tasa o velocidad del proceso fotosintético y, por ende, de crecimiento.

El objetivo del control climático será, por tanto, ajustar, en la medida de lo posible, los

factores que intervienen teniendo en cuenta las interacciones que hay entre ellos. Y es entonces aquí dónde el cultivo protegido tiene una gran ventaja frente al cultivo al aire libre utilizando técnicas de manejo tales como calefacción, nebulización, ventilación, enriquecimiento de CO<sub>2</sub>, etc.

La FOTOSÍNTESIS es la reacción metabólica fundamental, ocurre en unas células específicas situadas en la superficie foliar: Tanto la ocurrencia como la velocidad de esta reacción dependen de la temperatura, habiendo un rango de esta última óptimo específico para cada planta. Hasta aquí vemos la intervención de la radiación PAR interceptada por unos orgánulos específicos de las células clorofílicas; del CO<sub>2</sub> del aire que ha accedido a la planta a través del poro estomático, cuya apertura o cierre depende del movimiento de los estomas, unas células específicas situadas en la superficie foliar, Pero es necesario un contenido determinado de agua en las células clorofílicas para que la reacción ocurra. La planta contiene agua porque durante su proceso de crecimiento la ha ido absorbiendo a través de las raíces. La fuerza o presión de succión depende, además de la evidente existencia de agua en el entorno radicular, del flujo de transpiración.

La TRANSPIRACIÓN consiste en la salida de vapor de agua de la planta al exterior a través del poro estomático (el mismo por el que accede el CO<sub>2</sub>) y su acceso, por tanto, depende del régimen de apertura de las estomas, el cual está condicionado por el contenido de vapor de agua en el aire, (humedad del aire). Cuando se produce esta salida de vapor de agua al exterior, al ambiente inmediato que rodea a la planta, se produce una presión hídrica transmitida de inmediato a las raíces las cuales absorberán agua para volver al equilibrio inicial (ABSORCIÓN HÍDRICA). Vemos entonces la estrecha relación que hay entre los 3 procesos fundamentales que ocurren en la planta para su crecimiento y mantenimiento y, los requerimientos ambientales básicos para que ocurran.

#### **2.4.1 Radiación solar**

Se encuentra entre 300 y 2500 nm del espectro, la que utiliza la planta para el proceso fotosintético se encuentra entre 400 y 700 nm y es conocida como radiación

fotosintéticamente activa (PAR), constituye alrededor del 50% de la radiación solar global que llega al nivel de la tierra, pero sólo una pequeña proporción de la misma es absorbida por las plantas para el proceso fotosintético mientras que el resto es convertido en calor

El cultivo bajo invernadero difiere del cultivo al aire libre en que las radiaciones son más bajas en invierno y que puede haber pérdidas de alrededor de 30-50% por reflexión y absorción del material de cubierta, así como de los elementos de construcción del invernadero. Éstas pueden deducirse por las leyes ópticas de reflexión, absorción y transmisión tanto del material de cubierta como del material opaco que estructura el invernadero.

#### **2.4.2 Temperatura**

La temperatura no es un factor de crecimiento en el sentido de que no aporta energía o constituyentes, pero sí que controla las tasas de reacciones metabólicas que dan lugar al crecimiento y desarrollo de la planta.

Estos procesos hacen de la temperatura el principal factor de crecimiento. De hecho, cada especie vegetal tiene su crecimiento determinado por unos niveles de temperatura que son específicos incluso para cada estudio fisiológico y fenológico. Éstos son el cero de vegetación, óptima de crecimiento, mínima y máxima biológicas (Tabla 2.1). Se manejan valores como la integral térmica de un ciclo de cultivo que es una medida del calor recibido por la planta a lo largo de todo su ciclo de cultivo.

Las fluctuaciones térmicas día-noche son importantes y vienen dadas por la termoperiodicidad. Hay especies cuya respuesta en crecimiento está más condicionada por la temperatura media de 24 horas (pepino, tomate, pimiento); otras, en cambio dependen más para aumentar la tasa de crecimiento del salto térmico día-noche que de la temperatura media de 24 horas (lechuga), o que necesitan un periodo de temperaturas bajas ( $T < 8^{\circ}\text{C}$ ) previa a la floración, (vernalización) como las crucíferas y liliáceas.

Especie	T (°C) Mínima letal	T (°C) Mínima Biológica	T (°C) Optima Noche	T (°C) Optima Día	T (°C) Máxima Biológica	T (°C) Optima Radicular	CO <sub>2</sub> (ppm)	HR Optima (%)
Tomate	0 a 2	8 a 10	13 a 16	22 a 26	26 a 30	15 a 20	1000-2000	55-60
Pepino	0 a 4	10 a 13	18 a 20	24 a 28	28 a 32	20 a 21	1000-3000	70-90
Pimiento	0 a 4	10 a 12	16 a 18	22 a 28	28 a 32	15 a 20	-	65-70
Berenjena	0 a 2	9 a 10	15 a 18	22 a 26	30 a 32	15 a 20	-	65-70
Judía	0 a 2	10 a 14	16 a 18	21 a 28	28 a 35	15 a 20	-	-
Melón	0 a 2	12 a 14	18 a 21	24 a 30	30 a 34	20 a 22	-	60-80
Calabacín	0 a 4	10 a 12	15 a 18	24 a 30	30 a 34	15 a 20	-	-
Lechuga	0 a 2	4 a 6	0 a 15	15 a 20	25 a 30	10 a 12	1000-2000	60-80
Fresa	-2 a 0	6	10 a 13	18 a 22	-	12 a 15	-	60-70
Rosa	-6 a 0	8 a 12	14 a 16	20 a 25	30 a 32	15 a 18	1000-2000	70-75
Gerbera	0 a 2	8 a 10	13 a 15	20 a 24	-	18 a 20	-	60-70
Clavel	-4 a 0	4 a 6	10 a 12	8 a 21	26 a 32	15 a 18	500- 1000	70-80
Gladiolo	0 a 2	5	10 a 12	16 a 20	-	18 a 21	-	-
Poinsettia	0 a 4	8 a 10	16 a 20	20 a 25	-	18 a 20	-	-

Tabla I: Niveles climáticos en invernadero (Tesi, 1972)

### 2.4.3 Anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>)

El carbono, C, es el principal componente de la biomasa de la planta, constituyendo el 40-45% de su materia seca total. Es absorbido como CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través de la fotosíntesis. La concentración óptima de CO<sub>2</sub> en el ambiente (definida como aquella con la que las plantas alcanza un 98% de la tasa máxima de crecimiento), oscila entre 600 y 1000vpm. La concentración normal en el aire ambiente es de 300 a 400 vpm. De ahí el interés que tiene enriquecerla concentración de CO<sub>2</sub> del aire de los invernaderos.

### 2.4.4 Humedad del aire

El contenido de vapor de agua en el aire afecta directamente al proceso de transpiración, el cual es importante para el mantenimiento de la turgencia, el transporte de asimilados y elementos minerales y el descenso de temperatura de la planta en periodos de elevada intensidad de radiación solar. La transpiración consiste en una salida de vapor de agua

de la planta a través de las células estomáticas situadas en la superficie foliar.

La apertura y cierre estomáticos están regulados principalmente por la diferencia de presión de vapor de agua que hay entre la cavidad subestomática y el aire. Bajo condiciones óptimas de hidratación de la planta, hay mayor cantidad de agua contenida en dicha cavidad que en el exterior, es entonces cuando se puede producir la apertura estomática, la consiguiente salida de vapor de agua hasta el equilibrio y, a su vez, la entrada de CO<sub>2</sub> a la cavidad subestomática indispensable en el proceso fotosintético.

Este proceso de apertura de estomas da lugar a una presión de succión transmitida a las raíces, dónde se absorben el agua y los elementos minerales disueltos, y su transporte, a la vez que este movimiento actúa como regulador de la temperatura de la planta.

Desde el punto de vista de control climático el valor que se maneja normalmente es la humedad relativa, la cual indica el contenido de vapor de agua en el aire a una temperatura del aire determinada como porcentaje de la capacidad máxima en la saturación.

Desde el punto de vista agronómico es más útil trabajar en términos de déficit de saturación, que es la diferencia entre la capacidad de humedad máxima y el contenido real. Cada vez se emplea más este parámetro a los efectos de control climático, sustituyendo a la humedad relativa.

#### **2.4.5 Fotosíntesis y luz**

En principio un aumento de energía luminosa (PAR) dará lugar a un incremento de la tasa fotosintética. Si partimos de una situación de baja intensidad luminosa (15 -100 W/m<sup>2</sup>), un aumento de la misma (> 100W/m<sup>2</sup>) se corresponderá con un aumento de la tasa fotosintética. La intensidad luminosa no es un problema desde el punto de vista de PAR, sí lo es, en cambio, en cuanto a la radiación calorífica que da lugar a un incremento excesivo de la temperatura del aire en los invernaderos.

#### **2.4.6 Fotosíntesis y CO<sub>2</sub>**

La planta absorbe CO<sub>2</sub> bajo la influencia de la luz que, en combinación con el agua celular, es transformado a azúcares. La concentración de [CO<sub>2</sub>] en el aire oscila entre 300-400vpm, si disminuye, la tasa fotosintética se reduce rápidamente. Los límites de [CO<sub>2</sub>] en el aire, mínimos y máximos varían entre especies y entre estados de desarrollo así como dependen de las intensidades de los otros factores ambientales interrelacionados.

#### **2.4.7 Fotosíntesis y temperatura del aire**

Influye en la velocidad de la reacción fotosintética para producción de azúcares, y en la posterior rotura de los mismos durante el proceso respiratorio. Por ello, el control de la temperatura debe enfocarse a buscar el nivel óptimo en el cual haya un equilibrio entre la tasa fotosintética y la respiratoria.

En la mayoría de las plantas a  $-5^{\circ}\text{C}$  la fotosíntesis se detiene, se considera que el intervalo óptimo se encuentra entre  $18$  y  $20^{\circ}\text{C}$ , temperaturas superiores no implican un incremento de tasa fotosintética, es más, por encima de  $35^{\circ}\text{C}$ , la tasa fotosintética se reduce drásticamente. El proceso respiratorio está fuertemente ligado a la temperatura, éste se inicia a  $5^{\circ}\text{C}$ , y, entre  $5$  y  $30^{\circ}\text{C}$  la tasa respiratoria se incrementa fuertemente. Con temperaturas superiores a  $40^{\circ}\text{C}$  la reducción es drástica y puede dañar fuertemente a la planta. Por tanto, la temperatura condiciona tanto la producción de azúcares en el proceso fotosintético como su reparto hacia el proceso respiratorio o a la división celular.

### **2.5 El Riego y Humedad En El Suelo**

El monitorear el contenido de agua en el suelo es esencial para ayudar a los agricultores a optimizar la producción, conservar agua, reducir los impactos ambientales y ahorrar inversión. El monitorear la humedad del suelo le puede ayudar a tomar mejores decisiones en la programación del riego, tales como el determinar la cantidad de agua a aplicar y cuándo aplicarla.

También le puede ayudar a igualar los requerimientos de agua del cultivo con la cantidad aplicada con el riego; y así evitar pérdidas de agua excesivas por percolación profunda o por escurrimientos o bien evitar aplicar una cantidad insuficiente. El exceso de irrigación puede incrementar el consumo de energía y los costos de agua, aumentar el movimiento de fertilizantes por debajo de la zona radicular, producir erosión y transporte de suelo y partículas de químicos a los canales de drenaje. El riego insuficiente puede reducir la producción de las cosechas. El mejorar el manejo de la humedad en el suelo de cultivo, le permitirá aumentar la producción y rentabilidad.

### **2.5.1 Sistema de riego.**

Un sistema de riego es el conjunto organizado de funciones y dispositivos mediante un método, cuyo funcionamiento ordenadamente relacionado, permite completar las necesidades de agua de los cultivos, aportando una cantidad requerida para el desarrollo del cultivo.

El manejo apropiado del riego requiere la evaluación de parte del agricultor de sus necesidades de riego en base a medidas de varios parámetros físicos del suelo. Algunos productores utilizan equipo sofisticado mientras que otros se basan en métodos empíricos o en el sentido común. Cualquiera que sea el método usado, cada uno tiene sus propios méritos y limitaciones.

### **2.5.2 Métodos de riego.**

Por método de riego se entiende a las técnicas y procedimientos empleados en hacer que el agua humedezca la zona de raíces. La técnica de riego consiste en reponer la humedad del suelo en cantidad y oportunidades adecuadas.

### **2.5.3 Clasificación de los métodos de riego.**

Dichas técnicas; según la forma de aplicación del agua al suelo y su disposición se clasifican en:

a) Riego por superficie.

- b) Riego por aspersión.
- c) Riego localizado.

a) **Riego por Superficie.** Necesita que el agua llegue a la parcela con energía gravitatoria, y utiliza la superficie del terreno para su distribución, para que los mismos sean eficientes.

Es recomendable que se realicen en suelos uniformes, profundos y bien nivelados. En el caso de tener aguas o suelos salinos, este tipo de riego permite realizar lavados más enérgicos que otros sistemas. En la Figura 8, se puede ver la aplicación de este método.



Figura 8 Riego por superficie

**b) Riego por aspersión.** Como se muestra en la Figura 9, este método es un sistema mecanizado, que permite la aplicación del agua en el suelo en forma de aspersión, o sea, fraccionando el caudal en gotas, asegurando un manejo eficiente de la lámina de riego. Tiene la ventaja, sobre el riego por gravedad, ya que se puede aplicar eficientemente en suelos con alto coeficiente de infiltración, suelos poco profundos, o suelos con topografía muy accidentada.



Figura 9 Riego por aspersión.

c) **Riego localizado.** Es una técnica de aplicación del agua en el suelo mediante caudales reducidos, sobre un área restringida del volumen radicular de los cultivos, con una alta frecuencia de aplicación, que permite mantener el suelo en condiciones cercanas a la capacidad de campo. Además también puede practicarse la fertirrigación en cantidades y momentos oportunos. La alta frecuencia favorece la absorción de agua por doble efecto, mantener elevadas las condiciones de humedad y lograr que bajen las concentraciones salinas. Una de las aplicaciones de riego localizado se muestra en la Figura 10.



Figura 10 Riego localizado

#### 2.5.4 Técnicas para medir la humedad del suelo

Un método que se usa comúnmente para determinar cuándo regar es monitorear la disminución de agua en el suelo. Cuando una planta crece, utiliza el agua del suelo alrededor de su zona de raíces. A medida que las plantas utilizan el agua, la humedad en

el suelo baja hasta un nivel en el cual se requiere aplicar un riego o el cultivo comienza a estresarse por falta de agua. Si no se aplica agua, la planta continuará haciendo uso de la poca humedad que queda hasta que finalmente utilice toda el agua disponible en el suelo y muera de sed.

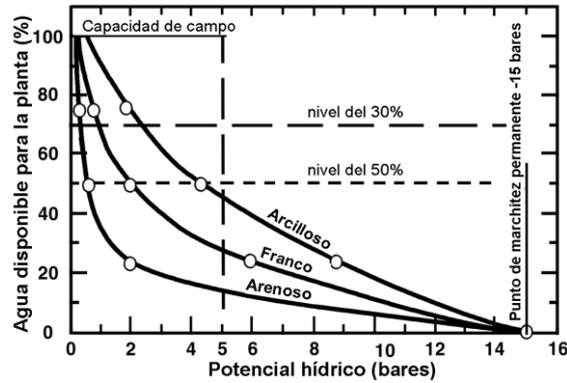


Figura 11 Diagrama con curvas características del contenido de humedad y tensión para suelos arenosos, arcillosos y francos<sup>7</sup>.

Cuando el perfil del suelo está lleno de agua y alcanza lo que se llama *capacidad de campo* (CC), se dice que el perfil está al 100% de su contenido de humedad disponible o a aproximadamente 0.1 bares de tensión. La tensión es una medida que determina la fuerza con la que las partículas del suelo retienen a las moléculas de agua: a mayor retención de humedad, más alta es la tensión. En el punto de capacidad de campo, cuando existe una tensión de solo 0.1 bar, el agua no es retenida fuertemente por las partículas del suelo y es fácil para las plantas extraer el agua. A medida que las plantas agotan el agua, la tensión en el suelo aumenta.

La figura 11 muestra tres curvas típicas para suelos arenosos, arcillosos y francos, las plantas utilizan el agua del suelo hasta que el nivel de humedad alcanza el *punto de marchitamiento permanente* (PMP). Una vez que el suelo se seca hasta llegar al PMP, las plantas ya no pueden seguir extrayendo agua del suelo y mueren de sed. Aunque por debajo del PMP todavía hay un poco de humedad, esta agua está retenida tan fuertemente por las partículas del suelo que las raíces de la planta no pueden extraerla. Dependiendo del tipo de planta y del tipo de suelo, el PMP ocurre a diferentes niveles de humedad.

<sup>7</sup> Tomada del Manual de Ingeniería Nacional (EU), 210-VI

Algunas plantas que se han adaptado a condiciones áridas, pueden sobrevivir con muy poca humedad en el suelo. En la mayoría de los cultivos agronómicos, el PMP se presenta cuando la tensión en el suelo es de 15 bares. Esto significa que el suelo está reteniendo el agua en sus poros con tanta fuerza que para que las plantas puedan utilizar esta agua, deben crear una fuerza de succión mayor a 15 bares de tensión. Esto no es posible para la mayoría de los cultivos comerciales; y a 15 bares de tensión, la mayoría de las plantas comienza a morir. El *agua disponible para la planta* (ADP) es la diferencia en contenido de humedad entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente.

La programación del riego se fija de acuerdo a un porcentaje de abatimiento del ADP. A este nivel de reducción se le conoce como *Déficit Permitido en el Manejo del Riego* (DPM). La mayoría de las investigaciones en riego recomiendan regar los cultivos en surcos tales como algodón, o maíz y sorgo de grano, cuando el DPM se acerca al 50%. Para los cultivos de hortalizas, el DPM comúnmente se establece al 40% o menos, debido a su mayor sensibilidad al estrés hídrico. Estas cantidades o déficits aseguran que el estrés hídrico no sea tan severo que pueda causar una pérdida considerable de la cosecha. Para poder planear un punto apropiado de riego, necesita hacerse un monitoreo cuidadoso del ADP durante toda la temporada. Los siguientes métodos se pueden utilizar para determinar el contenido de humedad del suelo.

#### **2.5.4.1 El Método del Tacto**

La determinación de la humedad del suelo por medio del tacto ha sido utilizada por muchos años por investigadores y agricultores por igual. Al apretar la tierra entre el pulgar y el dedo índice o al exprimir la tierra en la palma de la mano, se puede obtener una estimación bastante aproximada de la humedad en el suelo. Toma un poco de tiempo y algo de experiencia lograr esto, pero es un método comprobado. A medida que el suelo se seca, se dificulta hacer una bola de tierra y pronto la tierra se desmorona entre los dedos.

#### 2.5.4.2 La Sonda De Neutrones

La sonda de neutrones se ha utilizado extensamente en trabajos de investigación para determinar la humedad del suelo. Una sonda de neutrones contiene una fuente radioactiva que envía una cierta cantidad de neutrones rápidos. Estos neutrones rápidos son aproximadamente del tamaño de un átomo de hidrógeno, un componente esencial del agua. Cuando los neutrones rápidos chocan contra los átomos de hidrógeno, se vuelven más lentos. Un detector dentro de la sonda mide la proporción de los neutrones rápidos que salen y de los neutrones lentos que regresan.

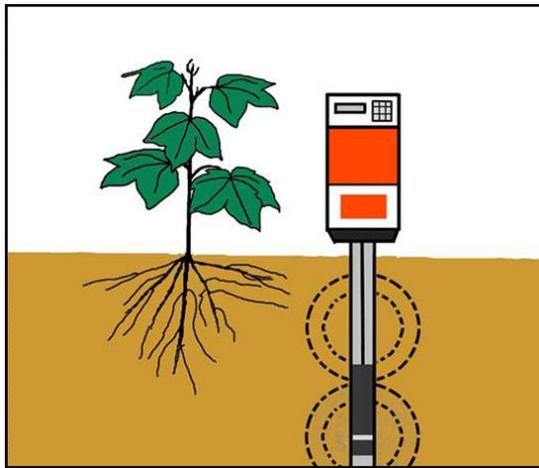


Figura 12 Diagrama de un indicador de humedad de neutrones (sonda de neutrones).

Esta relación se usa entonces para estimar el contenido de la humedad en el suelo. Sin embargo, debido a que cada suelo tiene otras fuentes de hidrógeno que no están relacionadas con el agua, es importante calibrar la sonda para cada suelo. Para medir la humedad del suelo con una sonda de neutrones, se instala un tubo de acceso en el suelo. Entonces, la sonda (la cual contiene la fuente radioactiva y el detector) se baja hasta la profundidad deseada (Fig. 12). Estas sondas son bastante caras y, debido a que contienen material radioactivo, se necesita una licencia para operarlas.

#### 2.5.4.3 La Resistencia Eléctrica

Otro método que ha sido utilizado por muchos años para determinar el contenido de humedad en el suelo es la medición de la resistencia eléctrica. Algunos dispositivos tales como los bloques de yeso y los sensores Watermark® utilizan la resistencia eléctrica

para medir la humedad del suelo.

El principio físico de estos dispositivos es que el contenido de humedad se puede determinar por la resistencia al paso de corriente eléctrica entre dos electrodos en contacto con el suelo. Entre más agua haya en la tierra, más baja es la resistencia. En las primeras etapas de desarrollo de estos dispositivos, se descubrió que se podía formar un puente de sal entre los dos electrodos y dar resultados falsos.

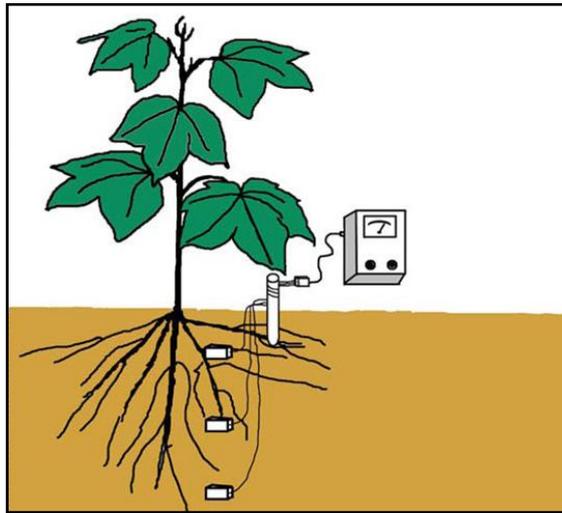


Figura 13 Diagrama de los bloques de resistencia<sup>8</sup>.

Hoy en día, los electrodos están instalados en un material más estable y no son tan susceptibles a formar puentes de sal. Su uso práctico es limitado puesto que operan muy bien en la parte alta del rango de humedad disponible en el suelo, pero su precisión disminuye en la parte baja de este rango. Para medir la humedad del suelo, los bloques se entierran a una profundidad deseada, con las terminales eléctricas extendiéndose hasta la superficie del suelo. Cuando los bloques están en equilibrio con el suelo, las terminales se conectan a un medidor y se toma la lectura (Fig. 13). Al terminar la temporada estos dispositivos se pueden extraer aunque es difícil recuperarlos en suelos arcillosos; por otro lado, estos bloques son relativamente baratos.

#### 2.5.4.4 La Tensión del Suelo

---

<sup>8</sup> En este ejemplo se muestran tres bloques anclados en el suelo mediante una estaca

Como se dijo anteriormente, a medida que el suelo se seca las partículas del suelo retienen el agua con mayor fuerza. Los tensiómetros miden la intensidad de la fuerza con la que el suelo retiene el agua. La mayoría de los tensiómetros tienen una punta de cerámica o porosa conectada a una columna de agua. Los tensiómetros son instalados a la profundidad deseada (Fig. 14).

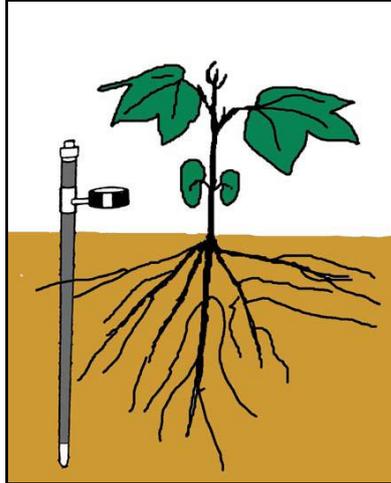


Figura 14 Diagrama de un tensiómetro.<sup>9</sup>

A medida que el suelo se seca, comienza a jalar agua de la columna de agua a través del bulbo de cerámica, provocando succión en la columna de agua. Esta fuerza se mide entonces con un indicador de succión. Algunos modelos más nuevos han reemplazado el indicador de succión con un sensor electrónico. Estos dispositivos electrónicos usualmente son más sensibles que los indicadores de aguja. Los tensiómetros funcionan bien en los suelos con alto contenido de agua, pero tienden a perder buen contacto con el suelo cuando la tierra se pone muy seca. Al igual que los bloques de resistencia eléctrica, los tensiómetros generalmente son difíciles de recuperar en suelos arcillosos.

## 2.6 Importancia De La Ventilación

De todos los factores que debemos controlar en un cultivo, el más importante sin lugar a dudas es el aire que rodea a las plantas, ya que no podemos olvidar que al igual que cualquier ser vivo estas respiran, y realizan todas sus funciones fisiológicas en función

---

<sup>9</sup> En algunos casos, el indicador de aguja es reemplazado con una terminal que conecta con un sensor que mide la fuerza de succión.

de esta actividad.

Está claro que un correcto movimiento de aire, influye positivamente en el buen funcionamiento de la planta intrínsecamente, pero también se puede añadir que si no existiese una correcta ventilación en un cultivo, habría zonas con diferencia de temperatura y humedad, y esto se notaría lógicamente en un descenso de la producción de la explotación.

La ventilación en los invernaderos es un tema crucial de esencial influencia en los resultados del cultivo.

La baja presión de aire dentro del invernadero, así como el viento exterior, provoca que el aire frío penetre dentro del invernadero.

Las aberturas de ventilación pueden estar controladas de forma manual o por medio de operación automática.

Abertura de ventilación en el techo - "la solución natural"

Una de las soluciones existentes en el mercado hoy en día es la solución de la abertura de ventilación en el techo del invernadero, con el fin de evacuar el calor y la humedad acumulados dentro de él. La ventaja de esta solución se basa en que el calor sube hacia arriba, de modo que, en forma natural la abertura cenital permite la salida del aire caliente sin ningún tipo de interferencia.

Ventajas de la ventilación natural:

- Costos de instalación y de mantenimiento más bajos
- No depende de la energía eléctrica
- Opción de construir un invernadero con frente de canalón más largo

Desventajas de la ventilación natural:

- Baja o ninguna capacidad de controlar las condiciones climáticas deseadas dentro del invernadero
- Gran dependencia de las condiciones climáticas externas

Es importante recordar que incluso cuando se elige la solución de ventilación natural, es

posible utilizar otra tecnología para aumentar la ventilación, o bien, una combinación de circuladores con pantalla térmica. La integración de estos sistemas puede agregar mejores resultados, los cuales ciertamente dependerán de las condiciones climáticas externas del invernadero y de la zona de cultivo.

#### Ventilación activa

En esta solución, el agricultor instala en el invernadero sistemas que tendrán la función de crear las condiciones climáticas ideales, tomando en cuenta el tipo de cultivo, las condiciones climáticas dentro y fuera de la estructura, así como también el tamaño de la estructura.

En base a estos datos, otros sistemas necesarios tales como: ventiladores, circuladores de aire, colchón húmedo y pantallas, deberán ser adaptados al tipo de cultivo, así como otros sistemas apropiados para las necesidades del cultivador y de la producción. Esta solución le permite al cultivador no sólo suministrar ventilación al invernadero, sino también crear las condiciones óptimas que ayuden a obtener un mayor rendimiento y una producción de mejor calidad.

#### Ventajas de la ventilación activa:

- Total control y monitoreo en las condiciones climáticas deseadas dentro del invernadero
- Mejores resultados anuales de cultivo independientemente de los factores externos

#### Desventajas de la ventilación activa:

- De costo más alto que la ventilación natural
- Depende del suministro de energía eléctrica
- Reducción de la longitud de los canalones (máximo 36 metros)

## **2.7 Tipos de Controladores**

La evolución de la electrónica y la informática ha mostrado que la relación entre estas dos ciencias está muy ligada. Esta relación no solo es vigente desde la concepción de la arquitectura interna de un microprocesador y su repertorio de instrucciones de máquina provistas para que un desarrollador de software construya sus aplicaciones, sino que ha llegado a niveles superiores como es el caso de los circuitos dispositivos PIC (Circuito Integrado Programable), FPGA (Field Programmable Gate Array), GAL (Generic Array Logic), DSP (Procesador Digital de Señales), PLC (Controlador Lógico Programable), PID (Control Proporcional Integral y Derivativo), entre otros.

### **2.7.1 Controlador Lógico Programable (PLC)**

EL PLC es un aparato electrónico operado digitalmente que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones, las cuales implementan funciones específicas, tales como lógicas, secuenciales, temporización, conteo y aritméticas, para controlar a través de módulos de entrada /salida digitales y analógicas, varios tipos de máquinas o procesos.

Una computadora digital que es usada para ejecutar las funciones de un controlador programable, se puede considerar bajo este rubro. Se excluyen los controles secuenciales mecánicos. De una manera general podemos definir al controlador lógico programable a toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales de control. Su programación y manejo puede ser realizado por personal con conocimientos electrónicos, sin previos conocimientos sobre informática.

También se le puede definir como una "caja negra" en la que existen unas terminales de entrada a los que se conectarán pulsadores, finales de carrera, foto celdas, detectores, etc... Unas terminales de salida a las que se les conectarán bobinas de contactores, electro-válvulas, lámparas; de tal forma que la actuación de estos últimos están en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado. Esto quiere decir que los relés de encallamiento, temporizadores

y contadores son internos. La tarea del usuario se reduce a realizar el "programa" que no es más que la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida.

### **2.7.2 Procesador Digital de Señales DSP**

DSP es el acrónimo de Digital Signal Processor, que significa Procesador Digital de Señal. Un DSP es un sistema basado en un procesador o microprocesador que posee un juego de instrucciones, un hardware y un software optimizados para aplicaciones que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad. Debido a esto es especialmente útil para el procesado y representación de señales analógicas en tiempo real: en un sistema que trabaje de esta forma (tiempo real) se reciben muestras (samples en inglés), normalmente provenientes de un conversor analógico/digital (ADC).

### **2.7.3 Microprocesadores**

Un microprocesador es un circuito de alta escala de integración (chip programable), compuesto por miles de circuitos más simples como: flipflops, contadores, registros, decodificadores, comparadores, etc.; todos ellos distribuidos internamente en varios bloques funcionales. También es conocido como Unidad Central de Procesamiento o CPU.

La programabilidad de un microprocesador se refiere a la capacidad que éste tiene para que su función sea definida a través de un programa. El programa consta de una serie de instrucciones relacionadas, ejecutadas secuencialmente (una a la vez) por el microprocesador y que pueden implicar operaciones, por ejemplo: suministrar señales para los demás elementos del sistema, buscar y traer datos desde la memoria, transferir datos desde y hacia los dispositivos de entrada y salida, decodificar instrucciones, realizar operaciones lógicas o aritméticas, etc.

### **2.7.4 Microcontrolador PIC's**

Es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de una computadora. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y,

debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo que gobierna. Esta última característica es la que le confiere la denominación de *consola incrustada*.

El microcontrolador es un computador dedicado. En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida soportan la conexión de los sensores y actuadores de dispositivo a controlar y todos los recursos complementarios disponibles tienen como única finalidad atender a sus requerimientos. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada.

## CAPITULO III

### CENTRO EXPERIMENTAL DEL RIEGO

#### 3.1 Reseña Del Centro Experimental Del Riego

##### 3.1.1 Estructura Orgánica

Gracias al convenio ESPOCH-MAGAP-SUBSECRETARIA DE RIEGO Y DRENAJE, se tiene implementado el primer Centro Experimental del Riego en el Ecuador.



Figura 15 Autoridades en Inauguración del Centro Riego experimental

DIRECTOR:

Ing. Juan León R

INVESTIGADORES

Diego Jaramillo B.

Juan Silva O.

### **3.1.2 Objetivo General**

Diseñar y complementar un, modelo de investigación y transferir tecnología a técnicos y agricultores de los sistemas de riego de la zona central del país, sobre alternativas de producción con tecnología apropiada – riego a presión, con énfasis en el buen uso y manejo del agua de riego, a fin de contribuir a mejorar las condiciones de vida de la población, definir cuándo, cuánto cómo y dónde regar eficientemente los cultivos para su producción sustentable

### **3.1.3 Objetivos Específicos**

- En el área académica, complementar la base teórica con clases práctica, en las áreas de riegos, drenaje y diseños hidráulicos.
- Apoyar a los trabajos de investigación que tiendan a generar o validar conocimientos sobre los requerimientos hídricos de los cultivos.
- Generar y probar tecnologías que hagan más viable y eficiente el manejo de los recursos hídricos.
- Realizar evaluaciones funcionales y económicas de métodos y sistemas de riego, con la finalidad de determinar la calidad y oportunidad de sus diseños
- Prestar servicios técnicos especializados a organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que trabajan en el área del buen uso y manejo del agua de riego.
- Desarrollar paquetes tecnológicos en el buen uso y manejo agua de riego bajo los conceptos del desarrollo sustentable para aportar al desarrollo socio económico de los agricultores d la zona central del país.
- Transferir los conocimientos generados a través de la investigación, a los usuarios de

los sistemas de riego de la zona central del país, empleando métodos y técnicas apropiadas demostrativas.

- Desarrollar una serie de folletería sobre el buen uso y manejo del agua de riego.
- Desarrollar material didáctico para capacitación del buen uso y manejo del agua de riego.
- Desarrollar un programa de capacitación sobre el buen uso y manejo del agua de riego, dirigida a técnicos y agricultores de la zona central del país.

#### **3.1.4 Servicios**

El CER brinda cursos en la siguiente temática:

- Diseño de sistemas de Riego por Superficie.
- Diseños de Sistemas de Riego por Aspersión
- Diseño de sistemas de Riego por Goteo
- Operación y Mantenimiento de Sistema de Riego.
- Fertirrigacion.
- Modelamiento hidráulico de redes con fines de riego.

#### **3.1.5 Funciones**

- Definir líneas de investigación sobre diseño de sistemas de riego parcelario por gravedad y a presión, principalmente sobre aspectos de movimiento del agua, de solutos dentro del suelo, para hacer una aplicación eficiente del riego y del fertirriego.
- Desarrollar sistemas de selección, diseño y evaluación de materiales de riego parcelario, que normalicen y cumpla con la calidad de los materiales para mejorar el uso eficiente del agua de riego.
- Desarrollar sistemas de pronóstico de riego y heladas.
- Desarrollar dispositivos controladores de presión en redes colectivas de baja presión, para la distribución equitativa del agua.
- Ejecutar trabajos de asesoría técnica en el buen uso y manejo del agua de riego para organizaciones gubernamentales y no gubernamentales así como para juntas de usuarios de riego.
- Organizar, ejecutar, administrar y evaluar proyectos de asistencia técnica, capacitación

y transferencia de tecnología de riego dirigidos a técnicos y/o usuarios de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales así como a miembros de juntas de regantes.

- Plantear, elaborar y ejecutar proyectos de modernización y rehabilitación de sistemas de riego parcelario aplicando tecnología apropiada con alternativas de producción.
- Desarrollo y transferencia de sistemas computacionales como apoyo a la operación y manejo del agua de riego.
- Generación de paquetes tecnológicos integrales para la transferencia eficiente de nuevas tecnologías en el buen uso y manejo del agua de riego.

### **3.2 Especificaciones del Invernadero**

El invernadero en el que se instalara el sistema de automatización pertenece al Centro Experimental de Riego. El cual se encuentra ubicado en el interior de la ESPOCH junto a la Facultad de Recursos Naturales, a una altitud de 2234 m. Orientación sureste-noroeste.



Figura 16 Fotografía parte Frontal del Invernadero del CER

Las características más importantes de este invernadero son: invernadero tipo capilla triple, con un área de 240 m<sup>2</sup>, las posee el invernadero en longitud es de 15m x 15m de ancho, con una altura de 4m.

Ancho de gablete: 8 metros.

Altura de canalón: 4 metros.

Ventilación fija en el ápice: 0.5 metros.

Capaz de soportar ráfagas de viento de entre: 120 y 150 km/h.

Capaz de soportar cargas de entutorado de hasta: 25 kg/m<sup>2</sup>.

El esqueleto de la estructura es fabricado con perfiles R.H.S.

Apropiado para las coberturas de polietileno.

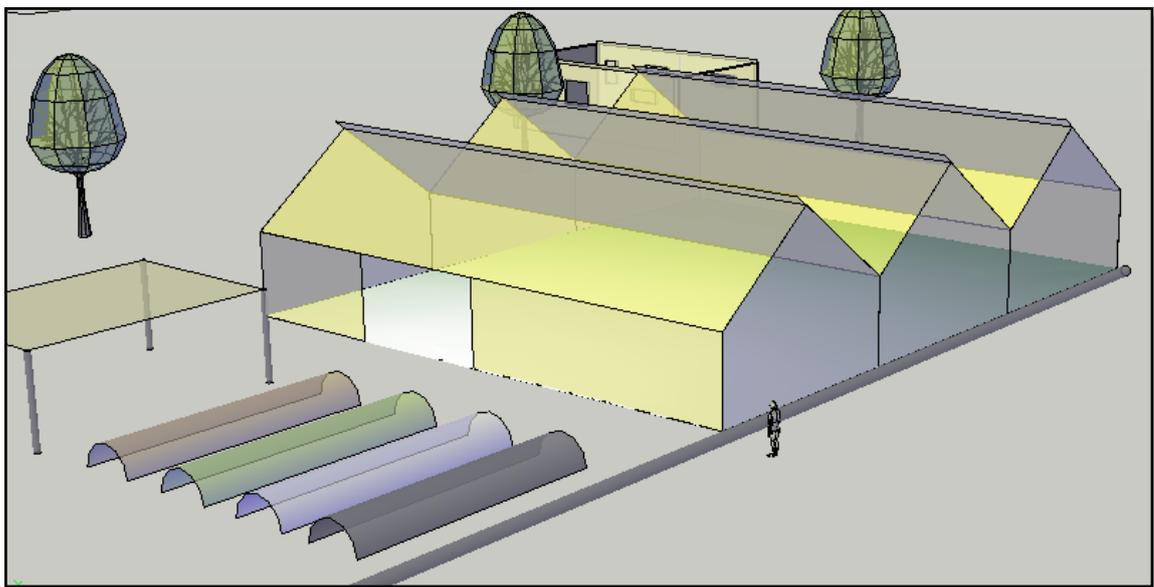


Figura 17 Plano 3D de la estructura del Invernadero

### 3.3 Control y Componentes del Invernadero

Anteriormente el invernadero poseía de sistemas de riego y control de temperatura que eran operados de forma manual, lo cual hacía necesario que se demande de tiempo de un operador a cargo en forma permanente y que todos los controles sean hechos a criterio del mismo, lo cual por ejemplo en el caso del riego se llevaba a cabo en base a lapsos de tiempo, lecturas de tensiómetros y apreciaciones del investigador.

#### 3.3.1 Riego del invernadero

El sistema de Riego que posee el Invernadero del CER es el riego por goteo, en el que el

agua se distribuye a baja presión en zonas muy concretas del terreno (bulbohúmedo), donde se desarrolla un sistema radicular del cultivo, con una frecuencia tal que en todo momento quede garantizada una alta humedad en la zona que se riega. Resulta muy útil cuando se tienen problemas de salinidad o fitosanitarios del suelo o alto contenido de sales en el agua utilizada para el riego.

Lo que comúnmente se conoce como riego por goteo es, de hecho una combinación de varios tipos de sistemas de distribución de agua de bajo volumen y alta frecuencia. El término correcto para estos sistemas es microirrigación. Cada sistema de microirrigación se distingue por un tipo diferente de emisor (la parte que descarga el agua). Estos sistemas de microirrigación son los requeridos por los agricultores Debido a que su necesidad de conservar el agua es cada vez mayor.



Figura 18 Sistema de riego por goteo

Algunos de estos sistemas literalmente distribuyen el agua gota por gota. Lejos de ser una tortura con agua, este tipo de sistema es la mejor forma de aprovechar el agua para las plantas. Manteniendo húmedas las raíces de las plantas (pero no al punto de saturación). Es así que se aplicaran sólo las cantidades requeridas de fertilizantes y agua al cultivo, sin tener que desperdiciar estos elementos.

### 3.3.2 Cinta de Riego por goteo

Para el riego por goteo en el CER, se utiliza una cinta auto compensada Aqua-Traxx, esta cinta es la única cinta de riego auto compensada de la industria. Esta cinta de riego por goteo permite hacer uso de terrenos marginales, en los cuales por tener una topografía accidentada, se consideran poco aptos para la agricultura.

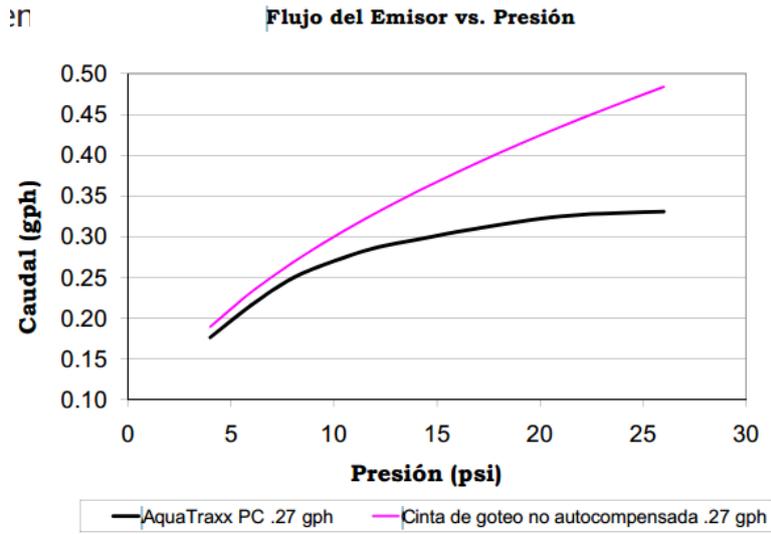


Figura 19 Aquatraxx vs Cinta no autocompensada

Las ventajas y desventajas de utilizar esta cinta autocompensada son:

Ventajas

- Aumenta la Uniformidad de Emisión (UE).
- Ahorra agua.
- Ahorra energía debido al ahorro de agua y a la reducción de presión del sistema.
- Tasas de aplicación más bajas que prácticamente eliminan los problemas de escurrimiento.
- Ahorra fertilizantes y otros productos químicos.
- Ahorra mano de obra, ya que la aplicación de los fertilizantes y otros productos químicos se lleva a cabo mediante el sistema de riego.
- Evita la pérdida y evaporación del agua y la falta de uniformidad del rociado debido a condiciones ventosas.
- Reduce las enfermedades causadas por el alto grado de humedad.

- Permite diseñar sistemas de riego más económico y con tuberías de menor diámetro, ya que se conducen caudales menores.
- Reduce la necesidad de herbicidas y desmalezado.
- Amplio rango de presión de funcionamiento: 4 – 25 psi.<sup>10</sup>
- Cambios de elevación significativos en pendientes o terrenos ondulantes

La cinta de riego autocompensada suministra 4 litros/hora, tiene un espesor 15 mil, y se encuentra con una distribución de 20cm entre goteros.

El suministro de agua que alimenta todas las tuberías para el riego por goteo con cinta autocompensada está dada gracias a una bomba desmontable de 1HP, que tiene como características un Caudal máximo de 50 litros/min y una presión de Trabajo máxima de 50 m.c.a. (71.1 PSI).

### 3.3.3 Fertilización

La fertilización de las plantas en conjunto con el riego es indispensable para obtener un rendimiento agrícola y una producción de excelente calidad.

El método utilizado para la fertilización consiste en la inyección del producto fertilizante mediante un sistema Venturi, instalado en la entrada de la tubería de riego.

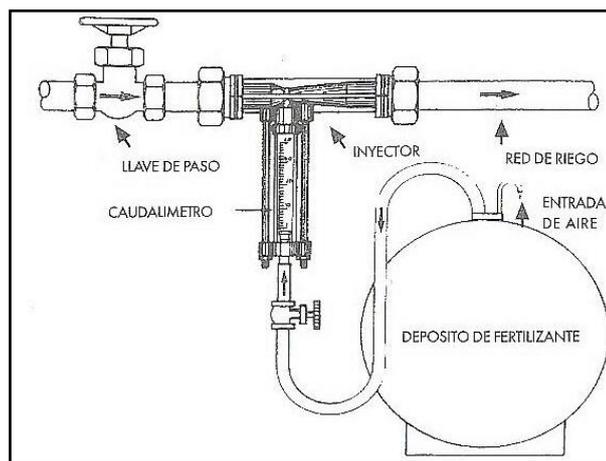


Figura 20 Funcionamiento de Fertilización por Sistema Venturi.

<sup>10</sup> Manual Aqua-Traxx PC Toro, Pag. 2

Está basado en el principio de succión al vacío creado por un avanzado sistema Venturi, que permite al inyector funcionar con pequeñas diferencias de presión entre el agua que entra en el mismo y el punto de inyección del abono, según caudales que deseen inyectar. Esta diferencia de presión está entre el 5-75%, según el tipo de inyección necesaria.

### 3.3.4 Control De Temperatura

El control de temperatura se basa en el control adecuado de la ventilación del invernadero. Por lo tanto evitar un incremento dañino de la temperatura al interior del invernadero, se convierte en una tarea muy importante.

La ventilación del invernadero se consigue mediante dos sistemas de ventilación natural.

La ventilación natural lateral se da mediante ventanas enrollables colocada a lo largo de la pared frontal del invernadero que se regula enrollándolas en su eje que tiene una longitud de 10m y una apertura máxima total de 1.5m de altura.



Figura 21 Sistema mecánico de cortinas del invernadero

Así como también ventilación natural cenital, mediante ventanas fijas en el ápice del invernadero, estas últimas son muy importantes, pues desalojan el aire caliente que se

acumula en la cumbre de los túneles, permitiendo con esto, que aire fresco exterior, circule a través de las paredes laterales, hacia el techo.

### **3.3.5 Malla de sombreado.**

Las mallas del invernadero del CER son de polietileno, las mismas que se encuentran en el exterior del invernadero, para que la reducción de la temperatura sea más efectiva.

La malla exterior se calienta con la radiación, pero se refrigera con el aire exterior del invernadero. En ensayos realizados por el CER se ha comprobado como el invernadero sin sombreado alcanzaba temperaturas medias máximas de 46,6° C. Al colocar la malla de sombreado negra por el exterior se conseguía reducir la temperatura a los 40,8° C, pero si se ponía en el interior ésta se incrementaba hasta los 50,5° C.

El color de la malla es importante. La de color negro es la de mayor duración pero bajo el punto de vista climático no es la mejor. Por ello se recomienda que no sean de color, puesto que cualquier material coloreado corta un porcentaje mayor del espectro visible.

## CAPITULO IV

### DESARROLLO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

Luego de haber determinado las características del sistema a automatizar, en el presente capítulo se describe las distintas etapas del diseño del sistema de control de temperatura y de humedad del suelo en el CER ESPOCH como dos subsistemas independientes.

Para la implementación del sistema automatizado se determina que el control ON-OFF con histéresis es el más adecuado para la aplicación, por las siguientes características:

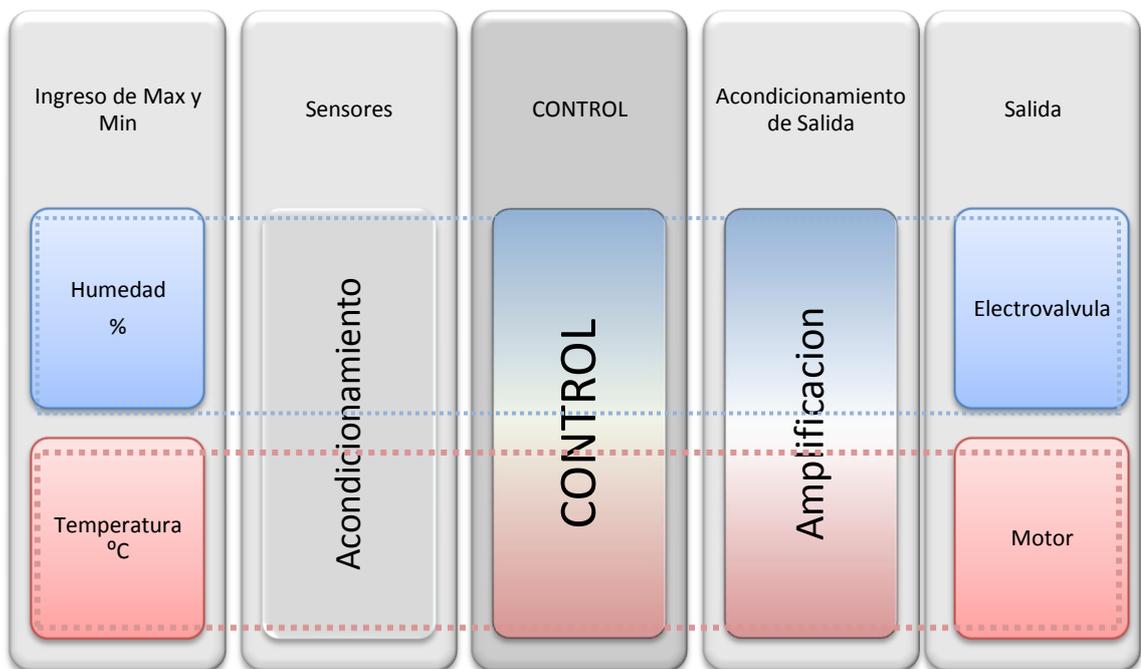


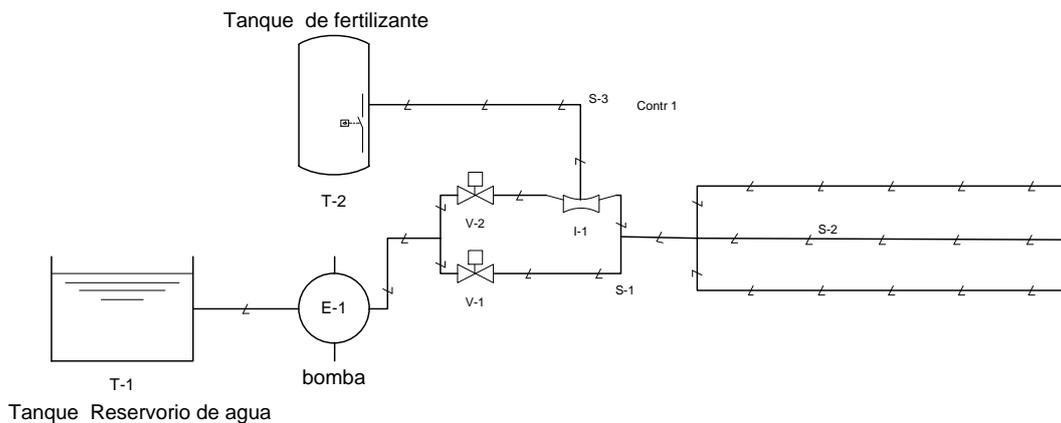
Figura 22 Esquema de Conjunto de Etapas del Sistema de Automatización

Las variables (temperatura, humedad del suelo) que se desean controlar no tienen alteraciones repentinas, además de que no controlan procesos críticos que requieran un control fino y los actuadores solamente se encienden o apagan de acuerdo a los valores de referencia ingresados por el investigador al sistema.

En el sistema de Automatización, se encuentra gobernado por un controlador en una serie de procesos integrados, que para fines explicativos se describen en dos subsistemas:

#### 4.1 Subsistema De Control De Humedad

El invernadero cuenta con un subsistema de control de humedad, este subsistema está destinado a mantener la humedad en el suelo del interior del invernadero, entre de parámetros prefijados en función de la investigación que se realice en el CER ESPOCH.



<b>Lista de equipamiento</b>				
<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Material</b>	<b>Modelo</b>
E-1	Bomba 0 - 70 psi	estándar	-	-
T-1	Tanque reservorio de agua	estándar	-	-
T-2	Tanque reservorio del fertilizante	estándar	PVC	
V-1	Electro-válvula 3/4", 24VCA	Bermand	PVC	M 210
V-2	Electro-válvula 3/4", 24VCA	Bermand	PVC	M 210
I-1	Tubo Venturi	estándar	PVC	

Figura 23 Esquema del funcionamiento del sistema de control de humedad del invernadero del CER ESPOCH.

Para ello, el subsistema de control ON OFF como se describe al inicio de este capítulo, actúa sobre una electroválvula que produce una circulación de agua hacia el invernadero

y la consiguiente humidificación del suelo, como se muestra en la figura 23, donde además se describe el proceso de fertiriego activado por una válvula en paralelo a la de riego descrita antes y en serie con un tubo de Venturi que por diferencia de velocidad permite el admisión del fertilizante al sistema.

#### 4.1.1 Diagrama De Bloques Del Sistema De Control De Humedad

A continuación se describe el diagrama de bloques del control de lazo cerrado On/Off de la humedad del invernadero.

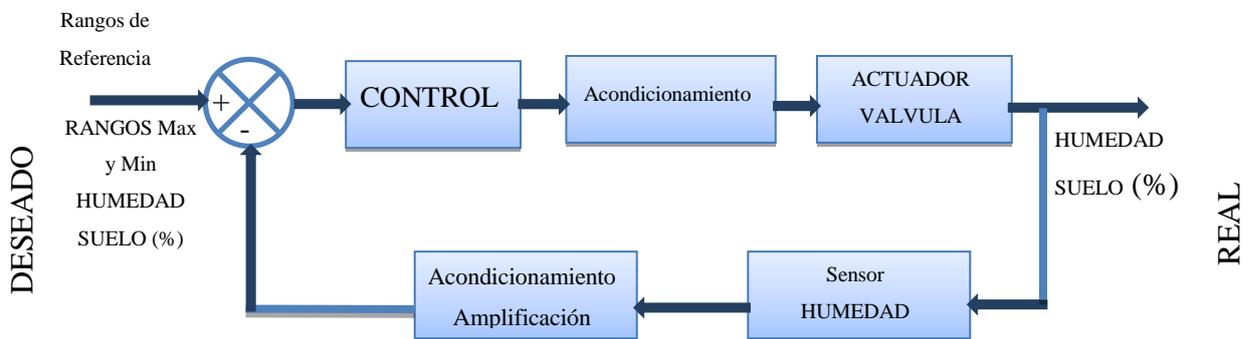


Figura 24 Diagrama de bloques del control de humedad del suelo del invernadero

#### 4.1.2 Ingreso de datos:

El usuario (investigador) ingresa al sistema los rangos máximos y mínimos de humedad, en porcentaje deseados dentro del invernadero de acuerdo a las necesidades de la investigación de cultivo que realice.

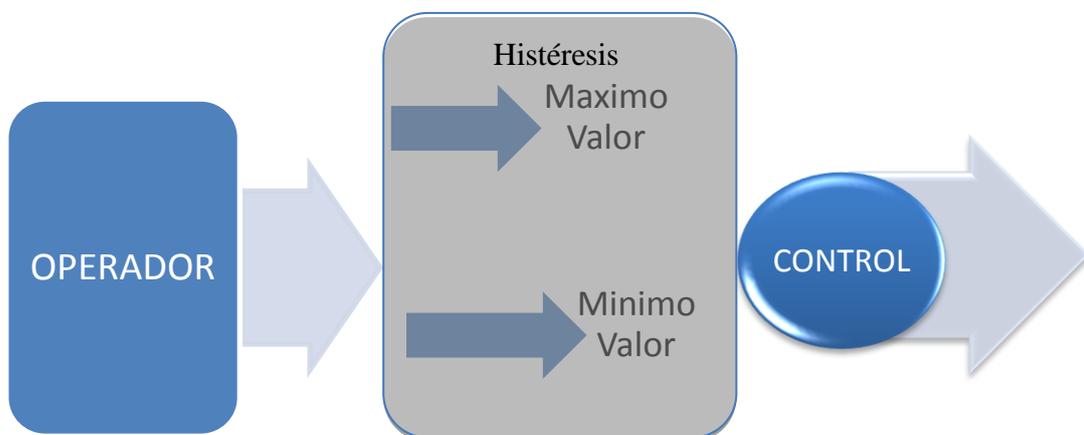


Figura 25 Esquema configuración de valores para la Histéresis

### 4.1.3 Sensor De Humedad De Suelo

Es el elemento de recolección de datos de la variable (humedad) en la planta. Con la medición de la resistencia eléctrica del suelo se puede determinar la humedad del mismo con una alta precisión, por ello se ha determinado el uso de estos sensores, por sus altas prestaciones.



Figura 26 Sensor de Humedad de suelo Watermark

El principio físico de estos dispositivos es que el contenido de humedad se puede determinar por la resistencia al paso de corriente eléctrica entre dos electrodos en contacto con el suelo. Entre más agua haya en la tierra, más baja es la resistencia.

### 4.1.4 Acondicionamiento De Entrada

El sensor de humedad de suelo, entrega una variación de resistencia de 550 a 28000  $\Omega$ , de acuerdo a la concentración de humedad en el suelo (0 a 200 cB).

Debido a que las entradas analógicas interpretadas por el PLC Logo son de 0 – 10 V se ha optado por implementar el circuito de acondicionamiento para el sensor de humedad. De acuerdo con el siguiente diseño:

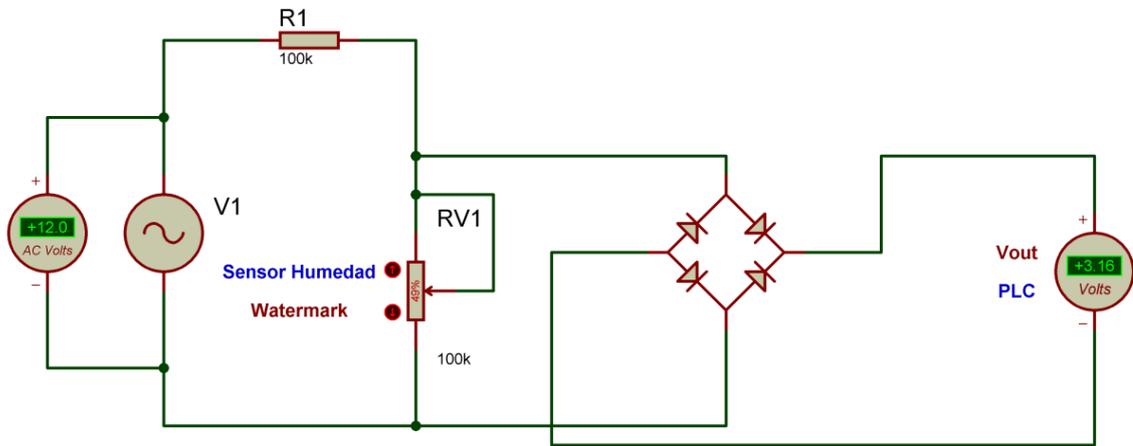


Figura 27 Diagrama del circuito de acondicionamiento de la señal (0-10 V) del sensor de humedad

Del gráfico por división de tensión se observa que la tensión en R1 es igual a

$$V_{out} = \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_{in} \quad (\text{Ec. 1})$$

En donde sabemos que  $R_2$  puede tomar valores de 550 a 28000 entonces tendríamos:

Con  $R_2=550$ :

$$V_{out} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{in}$$

$$V_{out} = \left( \frac{550}{10000 + 550} \right) 12$$

$$V_{out} = 0,63$$

Con  $R_2=28000$ :

$$V_{out} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{in}$$

$$V_{out} = \left( \frac{28000}{10000 + 28000} \right) 12$$

$$V_{out} = 8,84$$

Entonces con un valor de  $R_1 = 10k\Omega$  y  $V_{in} = 12v$  ;

Tenemos un  $V_{out}$  que tendrá valores entre:

$V_{out} = 0,63$  y  $V_{out} = 8,84$ , que son rangos admisibles por el PLC Logo (0-10v)

#### 4.1.5 Control De Humedad

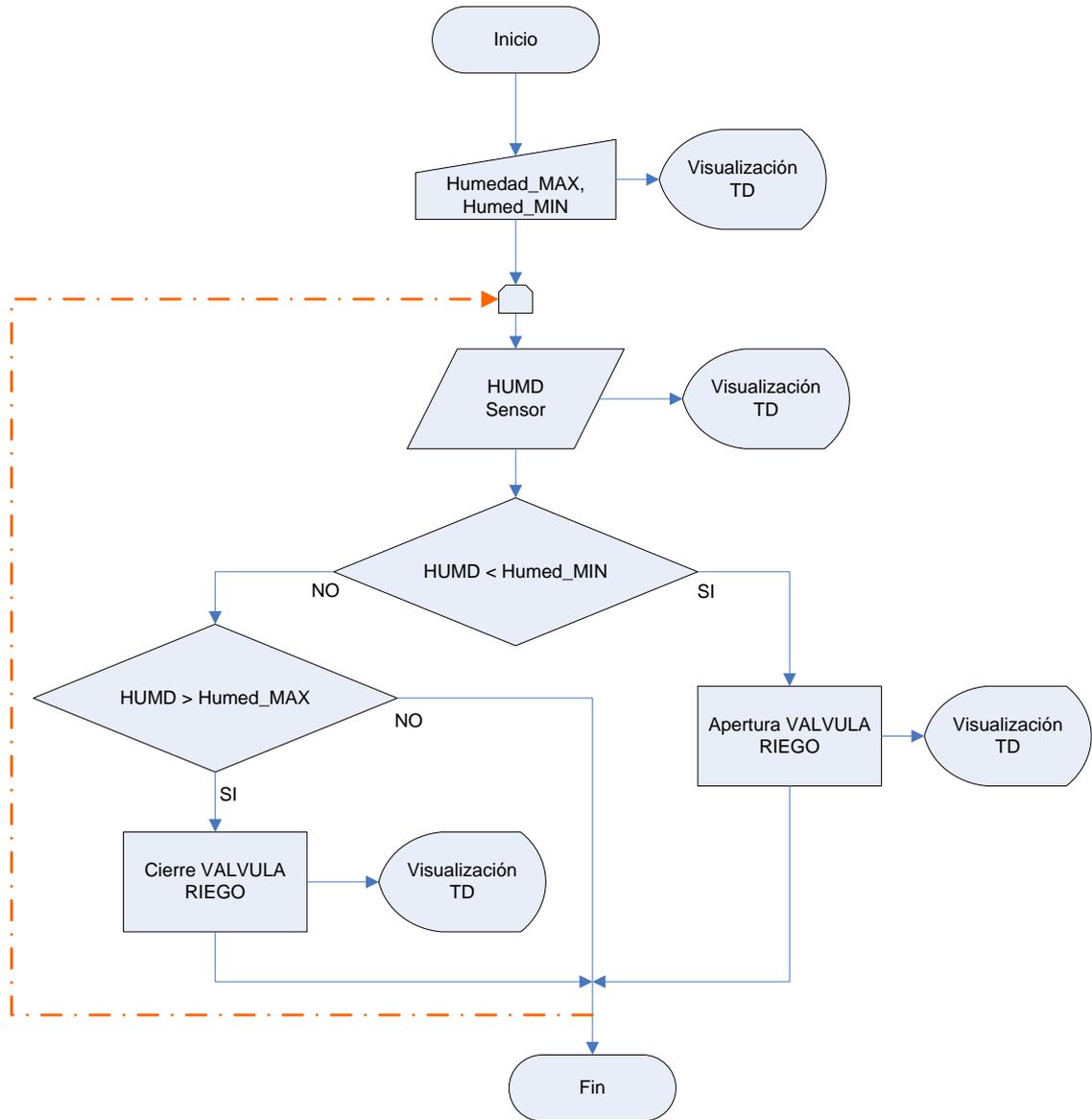


Figura 28 Diagrama de Flujo del sistema de control de Humedad del Invernadero

Es la etapa más importante, donde se compara la humedad deseada ingresada por el usuario, con los valores obtenidos en el campo por el sensor de humedad Watermark,

obteniendo la diferencia de ellos, es decir el error con lo cual el controlador establece la configuración de los actuadores para la corrección de este error, mediante la apertura o cierre del flujo de agua de riego.

Es importante señalar que el control se lo realiza por la metodología On – Off por las razones expuestas al inicio del capítulo.

Para realizar dicho control se ha considerado un Controlador lógico Programable, con un mínimo de dos entradas analógicas y una interfaz cómoda para la interacción con el usuario, en este caso un TD (Digital Text) compatible con el PLC.

#### **4.1.6 Actuadores (electroválvulas)**

En este subsistema de control, el equipo que sirve para regular la variable de control (humedad) y ejecutar la acción de control, es una válvula con accionamiento eléctrico.



Figura 29 Electroválvula Bermand

Para determinar las características mecánicas de las válvulas implementadas en el sistema se consideró la presión hidrostática medida por un calibrador de presión en el punto de la toma de agua suministrada por el sistema funcional existente, de donde se obtuvo una presión hidrostática de 25 PSI.

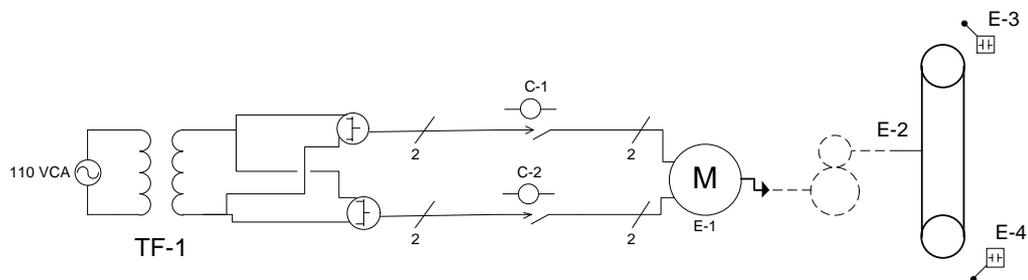
#### 4.1.7 Acondicionamiento de salida

Una vez determinado la necesidad de riego del sistema en la etapa de control se debe establecer la forma en la que esta orden sea interpretada por los actuadores en este caso las electroválvulas, para esto se debe acondicionar la señal lógica que envía el controlador (PLC), que permita la activación de las válvulas que ceden el paso a la irrigación del invernadero.

#### 4.2 Subsistema De Control Temperatura

El subsistema de control de Temperatura tiene como fin mantener la temperatura en el interior del invernadero, dentro de los parámetros prefijados en función de la investigación que se realice en el CER ESPOCH.

Para ello, el subsistema tiene un control ON OFF descrito al inicio, el cual actúa sobre el motor, que controla la apertura o cierre de la ventana que por consiguiente resultará en la variación de temperatura ambiente dentro del invernadero.



<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Material</b>	<b>Modelo</b>
TF-1	Transformador 24 - 12 VAC	estándar	-	-
C-1	Contactador 9 A 110 VCA	Schneider	-	-
C-2	Contactador 9 A 110 VCA	Schneider	-	-
E-1	Motor 30 N/m con caja reductora	estándar	-	-
E-2	Sistema de riel guía de motor	Placard	PVC	M 210
E-3 -4	Finales de Carrera	estándar	-	-

Figura 30 Esquema del funcionamiento del sistema de control de Temperatura del invernadero del CER

El control del motor consiste en dar el mando de apertura o cierre a través de dos

contactores que permitirán el paso de la energía cada uno con la polarización inversa de energía para que se invierta el giro del motor

#### 4.2.1 Diagrama De Bloques Del Sistema De Control De Temperatura

A continuación se describe las etapas del sistema de control On/Off de la temperatura ambiente del invernadero del CER ESPOCH.

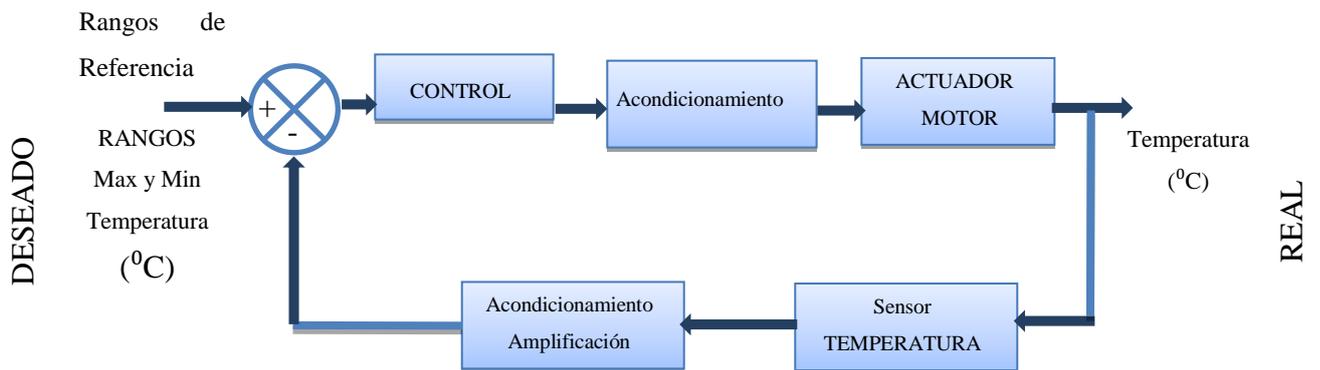


Figura 31 Diagrama de bloques del control de Temperatura del interior del invernadero

#### 4.2.2 Sensor de Temperatura

La temperatura será censada utilizando el circuito integrado lm35, el cual es un sensor de temperatura que resuelve el problema de la linealidad y ofrece altos niveles de rendimiento.

El LM35 entrega un voltaje de salida lineal proporcional a los grados centígrados, opera desde los  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta los  $150^{\circ}\text{C}$ , da lecturas de  $0.01\text{v}$  por cada  $1^{\circ}\text{C}$  y opera de los  $4\text{Vcd}$  a los  $30\text{Vcd}$ .

Además en este subsistema se utiliza dos sensores de posición mecánicos (finales de carrera) para determinar la posición de la persiana del invernadero Este sensor mecánico detecta la posición de la persiana (abierta - cerrada) por contacto de esta con el interruptor.

### 4.2.3 Acondicionamiento De Entrada

El sensor integrado de temperatura, entrega la variación lineal de voltaje proporcional a la temperatura en grados centígrados, de acuerdo a la variación del ambiente del invernadero. Este sensor permite operar con valores comprendidos desde los  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta los  $150^{\circ}\text{C}$

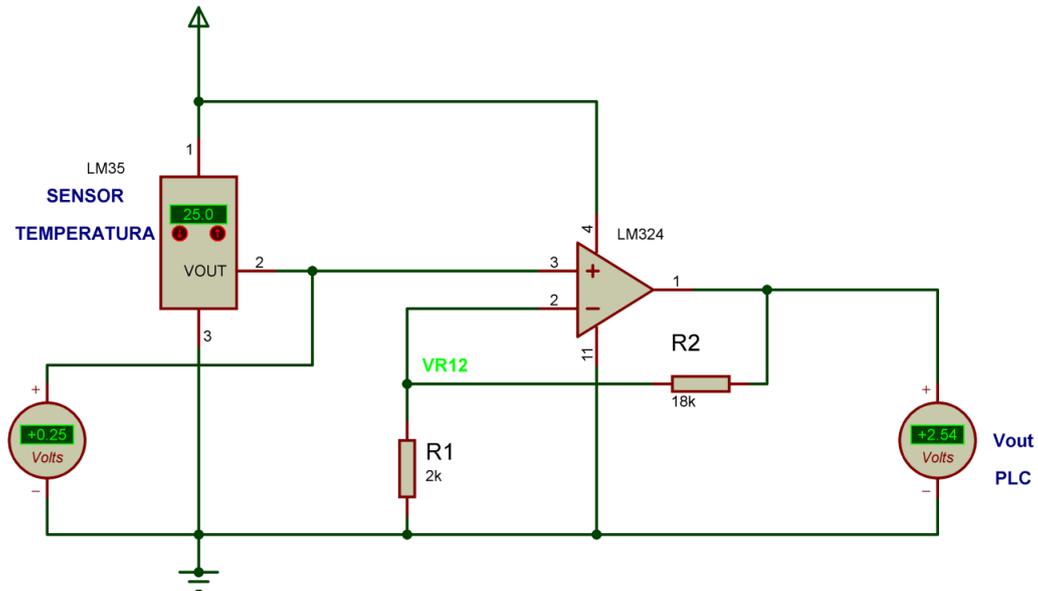


Figura 32 Circuito amplificador para el sensor de humedad del suelo.

Debido a que el sensor entrega valores de voltaje con escalas que comprenden a los mV, se ha desarrollado para la etapa de acondicionamiento tener una amplificación de 10 veces la señal de salida para que el PLC tenga una lectura más precisa en su entrada analógica de 0-10v.

En este caso la señal a amplificar que entrega el sensor LM35 se aplica al pin no inversor (+) del amplificador operacional LM324. Como el nombre lo indica, la señal de salida no está invertida respecto a la entrada.

Del gráfico (por división de tensión) se observa que la tensión en R1 es igual a

$$V_{R_1} = \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_{sal} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

En operación normal la tensión entre las entradas (inversora y no inversora) es

prácticamente cero, lo que significa que la entrada  $V_{en}$  es igual a  $V_{R1}$ . Entonces con  $V_{en} = V_{R1}$ , y con la formula anterior:

$$AV = \frac{V_{sal}}{V_{en}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

En donde la ganancia AV requerida es de 10, entonces tenemos:

$$10 = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

En la anterior formula Reemplazamos  $R_1 = 2k\Omega$  y obtenemos  $R_2$ :

$$10 = \frac{2k\Omega + R_2}{2k\Omega}$$

$$20k\Omega = 2k\Omega + R_2$$

$$R_2 = 20k\Omega - 2k\Omega$$

$$R_2 = 18k\Omega$$

Entonces para Obtener una ganancia de 10, las resistencias necesarias son:

$$R_1 = 2k\Omega \quad \text{y} \quad R_2 = 18k\Omega$$

#### 4.2.4 Control De Temperatura

La selección del control de temperatura correcta para el invernadero, depende del grado de control requerido. La solución idónea del sub sistema de temperatura es el control On-Off. La sensibilidad del control On Off (también llamado “histéresis” o “banda muerta”) es diseñado de modo que la salida no cambie de sí a no demasiado rápido. Si el rango de histéresis es muy angosto, habrá un incremento en la conmutación (traqueteo).

Este traqueteo hace que los empalmes de los contactores y elementos actuadores tengan una vida más corta. Entonces la histéresis se ajusta de modo que haya un retardo suficiente entre los modos “sí” y “no”. Debido a la necesidad de esta histéresis habrá siempre lo que se llama “overshoot” y “undershoot”. El “overshoot” es la magnitud en que la temperatura rebasa a la del setpoint, el “undershoot” es lo contrario. Debido a la histéresis necesaria, esta oscilación de temperatura estará siempre presente, la magnitud de esta oscilación dependerá de los valores ingresados por el usuario en el CER.

Para la magnitud de referencia 1, cuando este último valor se ve superado por la

magnitud real, el PLC emite una señal de desviación (señal de error) que actúa sobre el dispositivo de ajuste correspondiente a la referencia indicada.

Así mismo, en el caso de que la magnitud real supere el valor prefijado de temperatura para la *magnitud de referencia2*, el PLC emite una señal de desviación que actúa sobre el motor y en temperatura de referencia indicada.

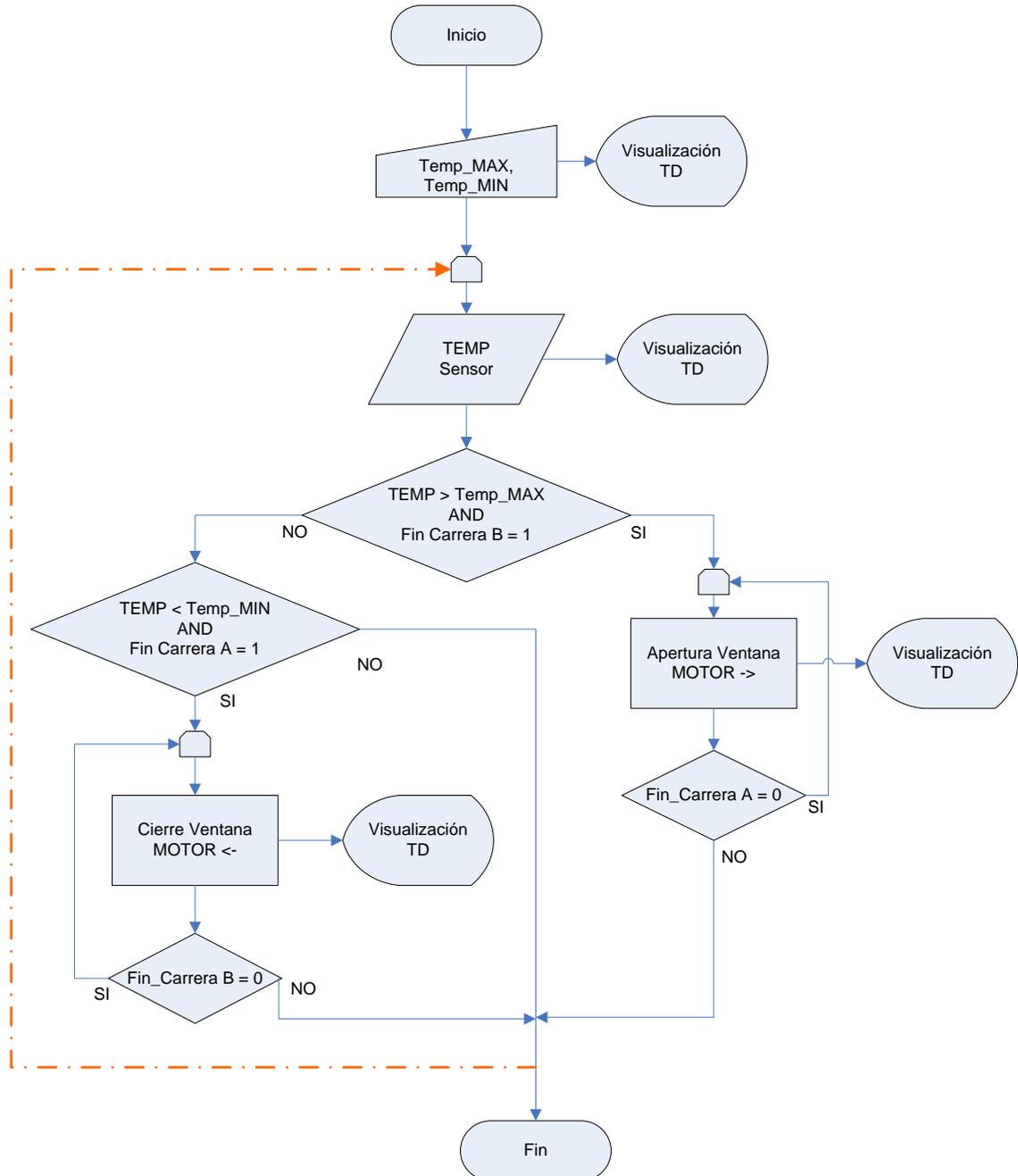


Figura 33 Diagrama de Flujo de Control de Temperatura

El dispositivo de ajuste está integrado por componentes que activan el motor de accionamiento del mecanismo de apertura de las cortinas laterales.

Si, como consecuencia de estas acciones, al cabo de un cierto tiempo la temperatura interna comienza a disminuir, el sensor continúa enviando al dispositivo de regulación sucesivas señales correspondientes a los diferentes valores de temperatura (magnitud real) que se van presentando.

El dispositivo de regulación compara los diferentes valores recibidos del sensor, con los valores prefijados de temperatura (magnitudes de referencia 1 ó 2) para el cierre de las ventanas laterales.

De igual manera se requiere del PLC con entradas analógicas, ya que la señal del sensor viene dado en voltaje de 0 a 10 V.

#### 4.2.5 Actuador, Motor de ventanas:

En este subsistema de control, el equipo que sirve para regular la variable de control (temperatura) y ejecutar la acción de control, es un motor de baja velocidad angular que gobierna la apertura o cierre de la persiana lateral del invernadero.

La idea básica del sistema de apertura cierre de las ventanas del invernadero radica en mantener una velocidad de la superficie y la tensión constantes a medida que el plástico del invernadero se enrolla.

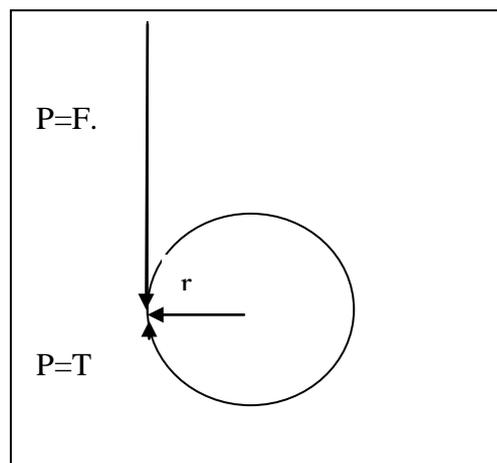


Figura 34 Diagrama de fuerzas en sistema de elevación de persiana

En movimiento rectilíneo, la potencia es:  $P = Fv$  (Ec 4.3)

En movimiento giratorio, la potencia es:  $P = T\omega$  (Ec 4.4)

La relación entre la velocidad de la superficie y la velocidad angular es:

$$v \left[ \frac{m}{s} \right] = \omega * r = \frac{2\pi * n[rpm] * r}{60} \quad (\text{Ec 4.5})$$

De donde se obtiene

$$n[rpm] = \frac{60 * V}{2\pi * r} \quad (\text{Ec 4.6})$$

El par es el producto de la fuerza por el radio:  $T = Fr$

De donde se reemplaza los valores del sistema existente como son Fuerza que en este caso es igual a masa\*gravedad

$$F = 220(\text{kg}) * 9.8(\text{m/s}^2)$$

y se obtiene la fuerza necesaria del motor a implementar en el sistema

$$F = 2156 \text{ [N]}$$

Reemplazando en  $T = Fr$

$$T = 2156 \text{ [N]} * 0.005$$

$$T = 10.78 \text{ [Nm]}$$

En la parte inicial del proceso de elevación; ahora, a medida que se sigue enrollando la cortina del invernadero el radio de acción aumenta lo que lleva a obtener

$$T = 2156 \text{ [N]} * 0.01$$

$$T = 21.56 \text{ [Nm]}$$

Sumado 20% por compensación de pérdida de eficiencia, obtenemos el requerimiento del torque del motor de 25.87 Nm.

De la misma manera para determinar las revoluciones por minuto necesarias del motor, reemplazamos en la ecuación 4.2 los valores correspondientes al presente sistema.

$$n[rpm] = \frac{60 * V}{2\pi * r}$$

$$n[rpm] = \frac{60 * 0.02}{2\pi * 0.01} = 19 \text{ rpm}$$

Donde obtenemos la velocidad referencial del motor a utilizar descrito en el siguiente capítulo.

#### 4.2.6 Acondicionamiento de salida

Una vez determinado los requerimientos de la temperatura del invernadero en la etapa anterior se debe establecer la forma en la que esta orden sea interpretada por los actuadores en este caso el motor que gobierna la apertura y cierre de las persianas, para esto se debe acondicionar la señal lógica que envía el controlador (PLC), para que permita la activación del motor en el sentido de giro requerido por intermedio de dos contactores como lo muestra la Figura 35.

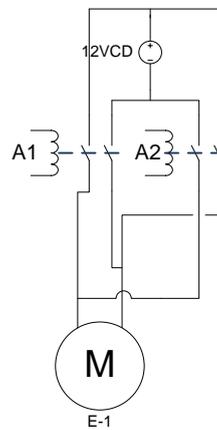


Figura 35 Esquema de conexión de los contactores para el cambio de giro del motor de la ventana.

## **CAPITULO V**

### **IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN**

Es una parte elemental en el desarrollo del sistema automático, ya que es la construcción física del modelo lógico desarrollado para solucionar los problemas del invernadero del CER, descritos en el capítulo anterior.

La sistemática implementación de los diferentes circuitos en etapas de potencia, acoplamiento para los sensores, y de control, permite una mayor fiabilidad del sistema y la obtención de los resultados esperados.

Es importante la selección apropiada de las herramientas, equipo, y dispositivos con los que se desarrolla el sistema para evitar posteriores daños o defectos en funcionamiento del automatismo, por ello es preciso realizar los cálculos necesarios y regirse a las especificaciones descritas por el fabricante de los elementos utilizados.

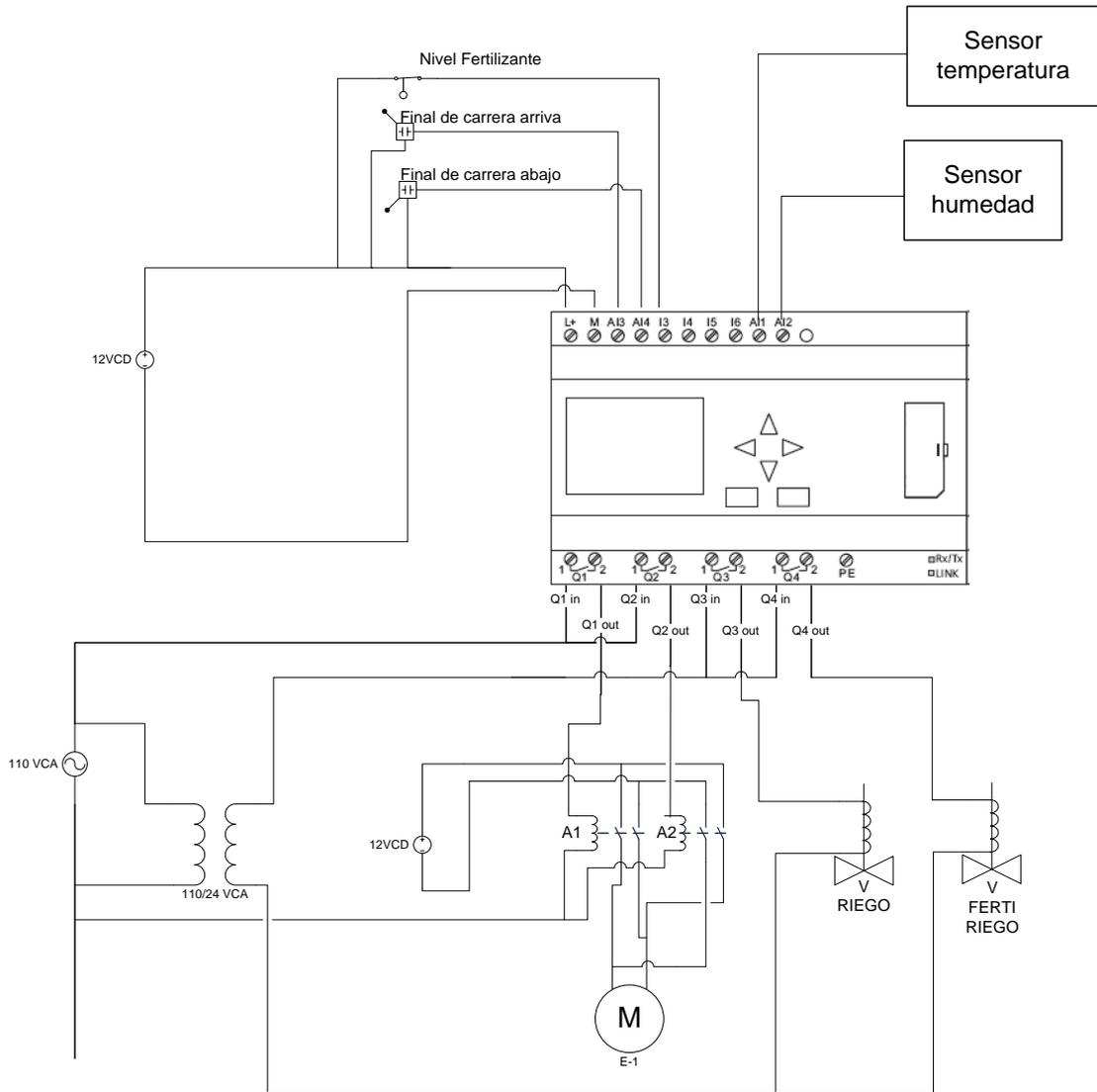


Figura 36 Diagrama de Conexiones del Sistema de Automatización CER

A continuación se describe la implementación del sistema de control del invernadero por las siguientes etapas.

## 5.1 Etapa De Entrada

### 5.1.1 Temperatura

Para este subsistema se implementó un sensor de temperatura con el circuito integrado de precisión LM35, ya que cumple con los requerimientos propuestos, como son, la entrega un voltaje de salida lineal proporcional a los grados centígrados, opera

desde los  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta los  $150^{\circ}\text{C}$ , da lecturas de  $0.01\text{v}$  por cada  $1^{\circ}\text{C}$  y opera desde los  $4\text{Vcd}$  a los  $30\text{Vcd}$ , por lo que en el circuito se optó utilizar en el LM324 un voltaje de operación de  $5\text{Vcd}$  que es controlado con un circuito gobernado con el CI 7805.

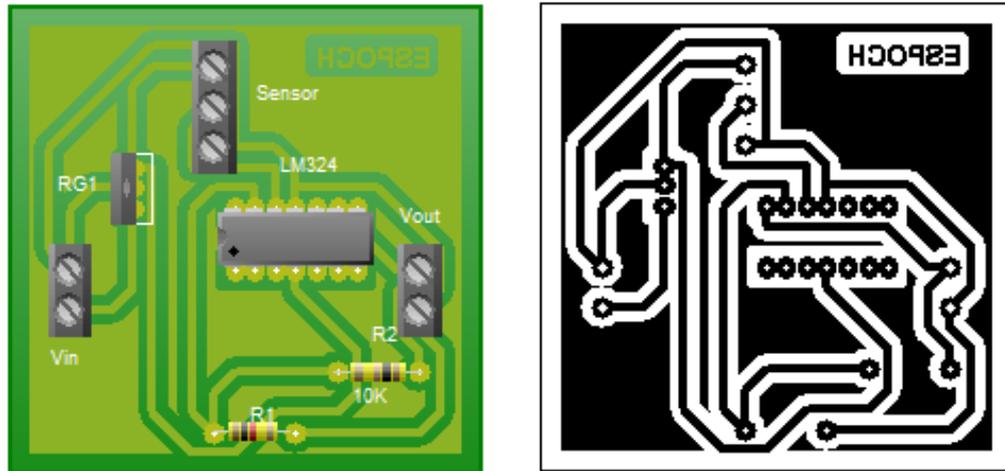


Figura 37 Circuito de Acondicionamiento del Sensor de humedad

Para la etapa de acondicionamiento se desarrolló un circuito de amplificación con una ganancia de 10, para la señal de salida del sensor, para que luego el PLC tenga una lectura interpretable por él. En la Figura 37 se muestra el sensor de humedad ya acondicionado para su uso con el PLC.

### 5.1.2 Humedad

Para mayor facilidad en el monitoreo de humedad se ha preferido la utilización de un sensor resistivo, “Watermark MR”, que está formado por dos electrodos concéntricos incrustados en un conglomerado especial sujetado por una membrana sintética y encapsulada en una funda de acero inoxidable.

Incorpora un disco amortiguador para reducir la influencia de la salinidad en las lecturas. Correctamente instalado responde rápidamente a los cambios de la humedad del suelo, prácticamente en forma lineal.

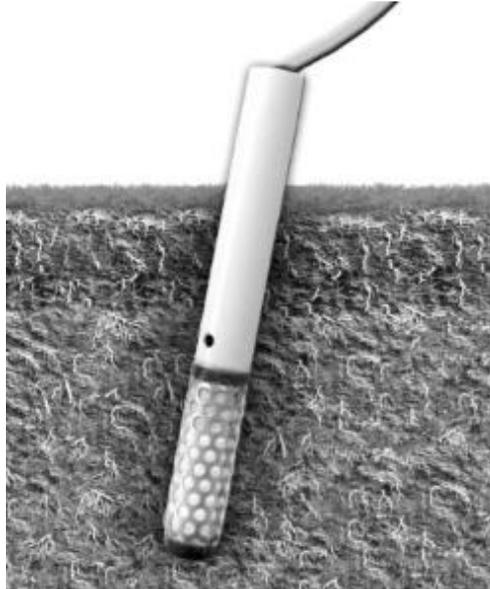


Figura 38 Sensor de humedad Watermark MR

El sensor “Watermark MR” (del tipo granular matricial), ofrece un método indirecto de medición de la humedad del suelo, a partir de la medida de la succión del agua en el terreno en centibares, con un rango aceptable lineal entre 0 y 200 [cb]. Cada valor de resistencia del sensor corresponde linealmente a un valor de humedad del suelo.

Tiene la ventaja de ser un sensor económico, robusto, de rápido tiempo de respuesta y de no necesitar mantenimiento ni calibraciones, pero no es de tanta precisión como un sensor tensiométrico y se degrada con el tiempo (vida útil de algunos años). Para el diseño del circuito de acoplamiento del sensor se obtuvo la siguiente información por parte del fabricante:

- La resistencia del sensor es inversamente proporcional a la temperatura del suelo. Ajustar un 1% por grado Fahrenheit de variación tomando como referencia inicial 75°F.
- No es recomendable aplicar al sensor una tensión continua, ya que los electrodos se pueden dañar por efecto electrolítico.
- No debería dejarse el sensor continuamente excitado, ni la corriente a través del mismo debería superar 1mA, esto es para que tenga una mayor vida útil.

Al igual que en la sección de temperatura, para la obtención de valores proporcionales a la humedad del suelo, se desarrolló un circuito amplificador, que está conformado por dos resistencias, de las cuales una es el sensor resistivo Watermark como lo muestra la figura 39

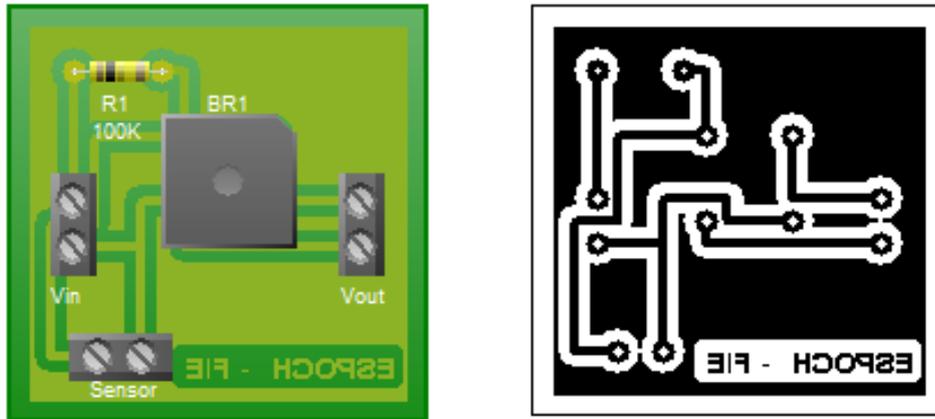


Figura 39 Circuito Acondicionador del sensor de Humedad

## 5.2 Etapa De Control

### 5.2.1 Controlador Lógico Programable LOGO

El Controlador Lógico Programable que se utilizó en la implementación de la etapa de control del sistema de automatización del invernadero del CER es el módulo lógico universal de Siemens LOGO, modelo OBA7 12/24 RCE del cual destacamos las siguientes características de las diversas que incorpora:

- Controles
- Panel de mando y display retroiluminado
- Fuente de alimentación
- Interfaz para módulos de ampliación
- Interfaz para tarjetas o cables
- El modelo OBA7 tiene una interfaz para una tarjeta SD
- Interfaz para un visualizador de textos (TD) opcional, que hemos optado por utilizarla.

- Funciones estándar preconfiguradas, por ejemplo retardo a la conexión, retardo a la desconexión, relé de impulsos e interruptor software
- Temporizadores
- Marcas digitales y analógicas
- Entradas y salidas en función del tipo de dispositivo
- Interfaz para la comunicación Ethernet con Dos LEDs para señalar el estado de la comunicación Ethernet.
- Borne PE para conectar la toma de tierra

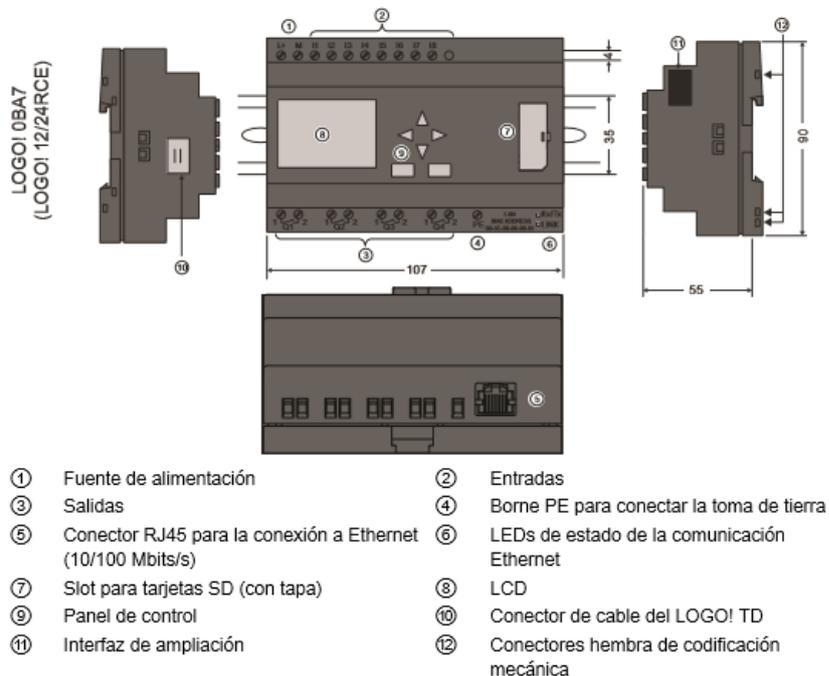


Figura 40 Características Físicas del LOGO

El modelo 12/24RCE presenta las siguientes particularidades que en nuestro sistema son de gran importancia para el ingreso de las señales de los sensores humedad y temperatura:

Las entradas I1, I2, I7 e I8 de esta versión de LOGO pueden utilizarse como entradas digitales o analógicas. El modo de entrada lo definiremos en el programa de LOGO!. Las entradas I1, I2, I7 e I8 proveen entradas digitales y, las entradas AI3, AI4, AI1 e AI2 proveen entradas analógicas, lo cual se configurará más adelante de acuerdo a nuestras necesidades.

Si I1, I2, I7 e I8 se utilizan como entradas analógicas, sólo está disponible el rango comprendido entre 0 y 10 V DC.

El módulo lógico universal ofrece soluciones para aplicaciones domóticas y de técnica de instalación (por ejemplo alumbrado de escaleras, iluminación exterior, toldos, persianas, alumbrado de escaparates, etc.), así como para ingeniería mecánica y construcción de máquinas y aparatos (p. ej. sistemas de control de puertas, sistemas de climatización, bombas para agua pluvial, etc.).

También puede implementarse para sistemas de control especiales en invernaderos o invernáculos, para el procesamiento de señales de control y, mediante la conexión de un módulo de comunicación (p. ej. AS-i), para el control distribuido local de máquinas y procesos. Para aplicaciones de producción en serie de máquinas pequeñas, aparatos y armarios eléctricos, así como en la técnica de instalación, existen versiones especiales sin panel de mando ni display.

### 5.2.2 Visualizador de Texto (LOGO TD)

La denominada LOGO TD la cual aparte de ser un display adicional más ancho que el del LOGO Basic, Incorpora cuatro teclas de función que el operador investigador utilizara para programar la configuración de los rangos máximos y mínimos de temperatura y humedad requeridos.

LOGO! TD

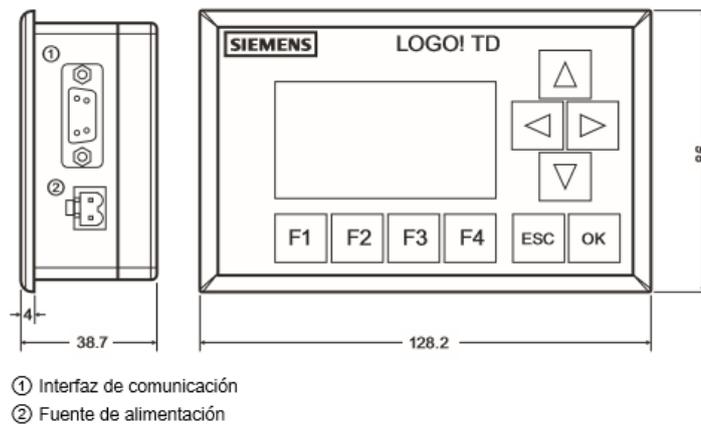


Figura 41 Características Físicas del LOGO TD

Igual que el LOGO! Basic, dispone de cuatro teclas de cursor, una tecla ESC y una tecla OK, que también pueden programarse y utilizarse para la navegación en el LOGO TD.

### 5.2.3 Montaje

#### 5.2.3.1 Montaje del LOGO<sup>11</sup>

El Montaje del LOGO se realizó en un perfil soporte que se sujetó a la caja de montaje para lo cual se procedió del siguiente modo:

1. Se enganchó el módulo base LOGO! en el perfil soporte.
2. Empujamos la parte inferior del módulo hacia abajo hasta que encaje en el perfil. La corredera ubicada en la parte posterior del módulo quedó enclavada.

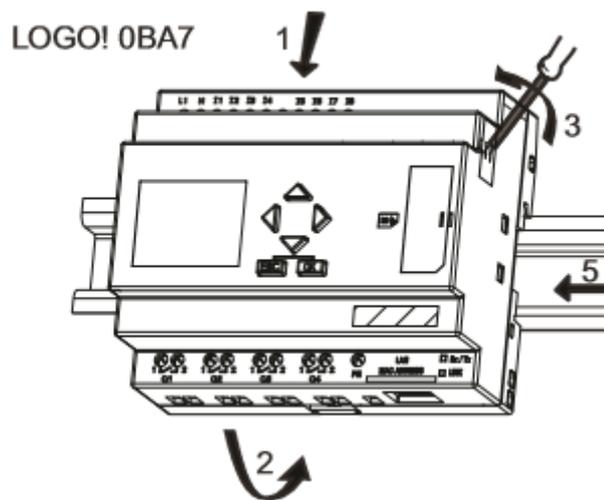


Figura 42 Pasos de montaje LOGO

3. Procedemos a retirar la tapa del conector ubicada en el lado izquierdo del LOGO,
4. En el conector ubicado bajo la tapa previamente retirada ubicamos el cable que posteriormente se conectara con el LOGO TD.
5. Deslizamos el LOGO TD hacia la izquierda hasta que lo ubiquemos en la posición requerida.

---

<sup>11</sup> Manual Logo, Sección 2, Pág. 39

### 5.2.3.2 Montar el LOGO! TD

Para la preparación de la superficie de montaje del LOGO! TD y su correcto ensamblaje, se procedió de la siguiente manera:

1. Se Recortó un recuadro de 119,5 mm x 78,5 mm (tolerancia: +0,5 mm) en la Caja de montaje.

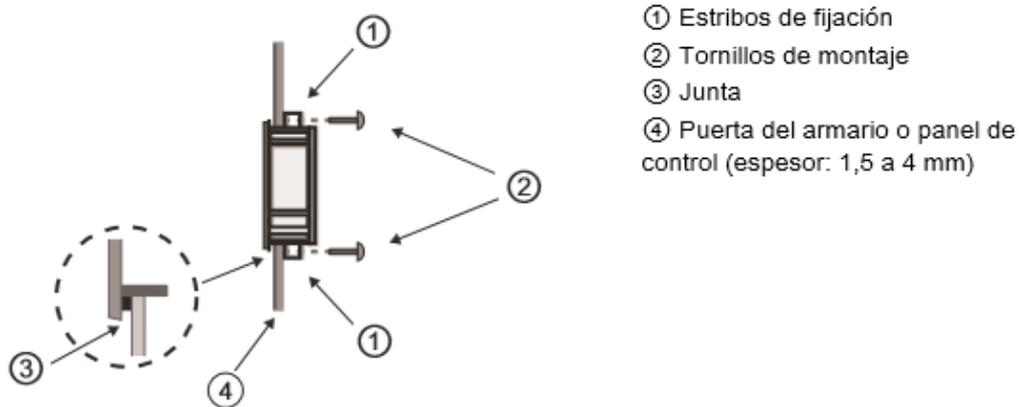


Figura 43 Pasos de montaje LOGO TD<sup>12</sup>

2. Se Colocó la junta en la placa frontal del LOGO! TD.
3. Se encajó el LOGO! TD en el recorte hecho en la superficie de montaje.
4. Asentamos los estribos de fijación al LOGO! TD.
5. Apretamos los tornillos de montaje sobre los estribos de fijación para sujetar el LOGO! TD

### 5.2.4 Conexiones y Cableado

El fabricante recomienda utilizar una protección por Fusible de 0,8 A para el LOGO conectado a una fuente de energía de 12 Vdc:

---

<sup>12</sup> Manual Logo, Sección 2, Pág. 46

LOGO! ... con fuente de alimentación DC

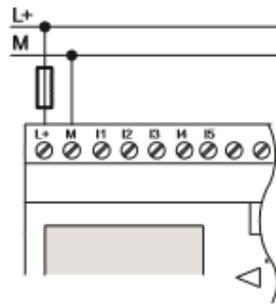


Figura 5.8 Conexión LOGO a Fuente DC

El LOGO! TD debe conectarse a una fuente de alimentación externa que provea una tensión de 12 V DC o 24 V AC/DC. El suministro del LOGO! TD incluye un conector de alimentación.

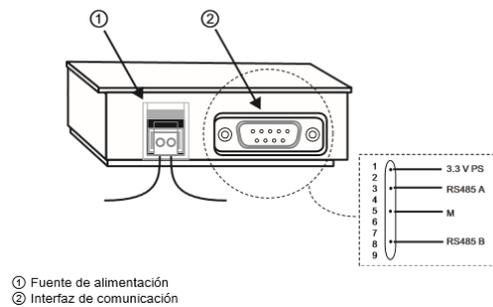


Figura 44 Conexión LOGO TD a Fuente

### 5.2.5 Conexión de sensores

Las entradas de este dispositivos no está aislada galvánicamente, por lo que requiere el mismo potencial de referencia (masa). El LOGO tomara señales analógicas entre la tensión de alimentación y la masa con un rango de 0-10 Vdc

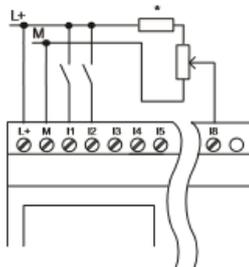


Figura 45 Conexión de sensores al LOGO

### 5.2.6 Conexión de las salidas

Esta versión de LOGO está equipada con salidas de relé. Los contactos de los relés están aislados galvánicamente de la fuente de alimentación y las entradas.

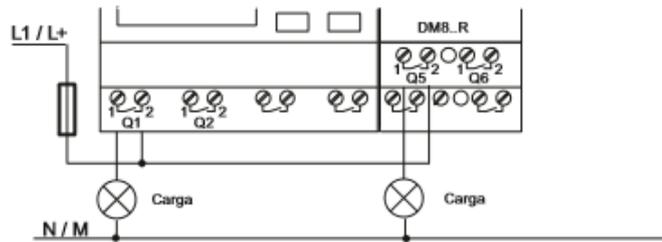


Figura 46 Conexión de Salidas de LOGO

La protección de las cargas debe tener una protección por fusible automático, recomendado de máximo 16A

## 5.3 Etapa De Salida

### 5.3.1 Electroválvulas

Para las satisfacer las necesidades que requiere el sistema se instaló dos electroválvulas normalmente cerrada NC de dos vías  $\frac{3}{4}$  “. La marca BERMAD produce equipos destinado específicamente para acciones de regadío, y ampliamente ocupados en sistemas de riego por goteo.

El cuerpo de la válvula incluye una cavidad única totalmente exenta de obstrucciones y sin protuberancias que interfieran en el flujo del agua. En el conjunto del disco de cierre se encuentra el diafragma cuidadosamente equilibrado con soporte periférico y un robusto cierre positivo guiado con una superficie de cierre hermético (selladura) elastomérica (Ver figura 47). Este diseño interno permite:

- Altos caudales con baja pérdida de carga
- Suavidad en la apertura y el cierre de la válvula
- Regulación precisa y estable
- Baja presión en la apertura y el accionamiento
- Un diafragma que no se erosiona ni deforma

- Una combinación de diafragma y resorte que responde totalmente al rango de presiones de trabajo requerido.

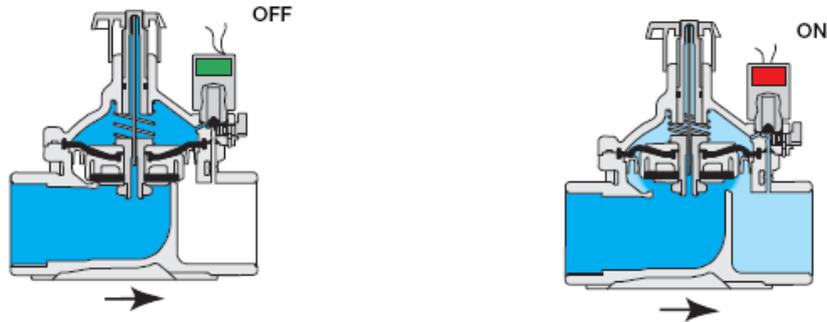


Figura 47 Estados de la electroválvula Bermand<sup>13</sup>

<p><b>Cerrada</b></p> <p>La restricción interna permite el acceso de la presión en la línea a la cámara de control. El solenoide controla la salida de la cámara de control. El solenoide cerrado hace que la presión se acumule en la cámara de control y cierre la válvula.</p>	<p><b>Abierta</b></p> <p>La apertura del solenoide introduce más flujo de la cámara de control que el permitido por la restricción. Esto hace que disminuya la presión acumulada en la cámara de control, y que la presión en la línea que actúa sobre el tapón pase a la válvula</p>
---	---

A continuación se describe las principales características de la electroválvula Bermand 210 en la Tabla II

Descripción	Característica
Tipo de válvula:	Globo, Angular y Oblicuo (Y)
Rango de Presión:	0.7-10 bar (10-140 psi)
Rango de Temperatura:	Agua hasta 80°(180°F)
Datos Eléctricos:	– Estándar:
Voltaje:	24V AC (50-60-Hz)
Corriente de arranque:	0.23A
Corriente de operación sostenida:	0.20 A
Consumo de energía (Watts)	2.2
Materiales:	
Cuerpo y tapa:	Nylon reforzado
Diafragma:	Goma Natural

Tabla II Características de la electroválvula Bermand 210<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Manual Electrovalvula Bermand Series 200, Pág. 7

<sup>14</sup> Datos Manual Electrovalvulas Bermand Series 200, Pág. 6

### 5.3.2 Motor

Como se determinó mediante cálculos en el capítulo anterior los requisitos necesarios del motor para el sistema de apertura cierre de persianas en de aproximadamente 26 Nm, con una velocidad no mayor de 19 revoluciones por minuto, teniendo el motor con caja reductora las características descritas en la tabla 5.2, cumple a cabalidad las exigencias mecánicas y eléctricas del sistema.

<b>Model No.</b>	<b>SLC-DJ30W</b>
Voltage rating	DC12V
Max Output Current	1.6 A
Power rating	30W
Max Output Torque	27 Nm
Revolving Speed	≈ 6 rpm
Reduction ratio	1 a 570
Weight	1.5 Kg

Tabla III Especificaciones del Motor

## 5.4 Programación

Para la etapa de Programación se utilizó el LOGO!Soft Comfort que es el software de programación de LOGO! El cual nos permite crear, comprobar, modificar, guardar e imprimir programas de manera rápida y sencilla con la ayuda de nuestra PC.

Existen dos maneras de Programación:

- Programación por bloques de funciones.
- Programación por Diagramas Ladder o escalera.

### 5.4.1 Etapa De Accionamiento

#### 5.4.1.1 Accionamiento de Temperatura (Motor de Ventanas)

### ACCIONAMIENTO MOTOR DE VENTANAS

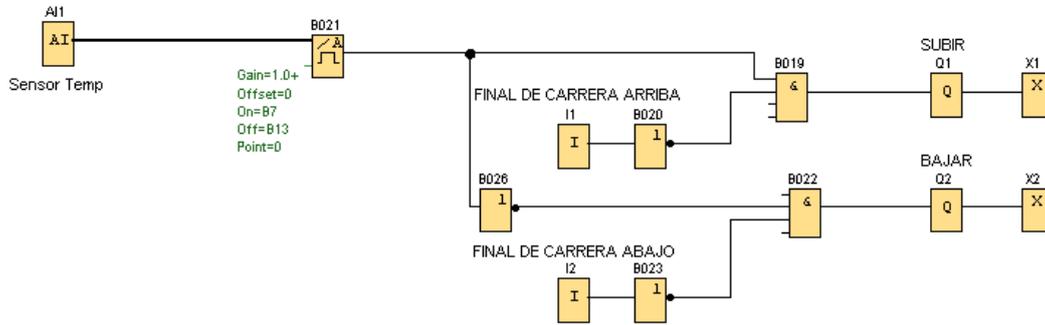


Figura 48 Programación para el Accionamiento del motor para Ventanas

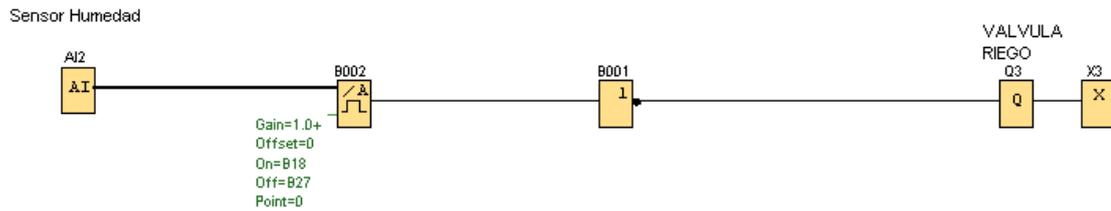
El control de temperatura se basa en el accionamiento del motor que interviene en la apertura y cierre de la ventana del invernadero.

Se lee la Entrada Analógica AI1 del LOGO, para ingresarla en el Bloque Conmutador analógico de valor umbral, en el cual se realiza la comparación con los valores máximos y mínimos requeridos, con el resultado de esta comparación se envía a encender la salida de relé Q1 para la apertura y Q2 para el cierre, hasta que se activen las entradas de los finales de carrera correspondientes. En la programación se tomó en cuenta las negaciones que se debe tener entre ambas salidas para que nunca se enciendan ambas a la vez.

#### 5.4.1.2 Accionamiento de Válvulas

Para el riego se tiene dos electroválvulas, una que controlara el paso u oposición, al flujo de agua dirigido al riego por goteo, y otra que controla el fertiriego dirigido al mismo lugar pero que contiene agua con fertilizante.

### ACCIONAMIENTO VALVULA DE RIEGO



### ACCIONAMIENTO VALVULA DE RIEGO

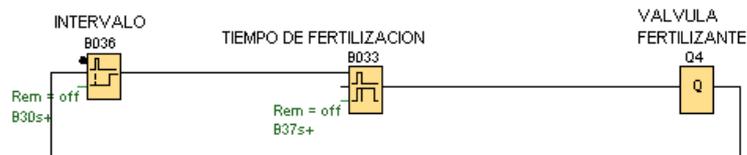


Figura 49 Programación del Accionamiento de Válvulas

Al igual que en el caso del control de temperatura se leerá la Entrada Analógica esta vez la AI2, la cual se la ingresará en un Bloque Conmutador analógico de valor umbral, en el cual se realiza la comparación con los valores máximos y mínimos de humedad que el invernadero necesita y con dependiendo de este resultado se enviará a encender o apagar la salida de relé Q3 para la apertura o cierre de la válvula de riego.

Para el caso del fertiriego se accionara cada cierto intervalo de tiempo por un periodo de tiempo determinado, tanto el intervalo y periodo de tiempos requeridos serán ingresados por el operador investigador a través del LOGO TD

#### 5.4.2 Etapa De Visualización en Pantallas Del Logo Td

En la pantalla del TD se mostrara al iniciar un texto de presentación el cual aparte de estar encabezado con el texto "ESPOCH CER" y la fecha y hora actual; también nos mostrará dos opciones:

- Ingresar a las pantallas de Configuración con la tecla de función F1
- Ingresar a las Pantallas de Estado con la tecla de Función F4



Figura 50 Pantalla de Presentación

### 5.4.2.1 Pantallas de Configuración

#### PANTALLAS DE CONFIGURACION F1

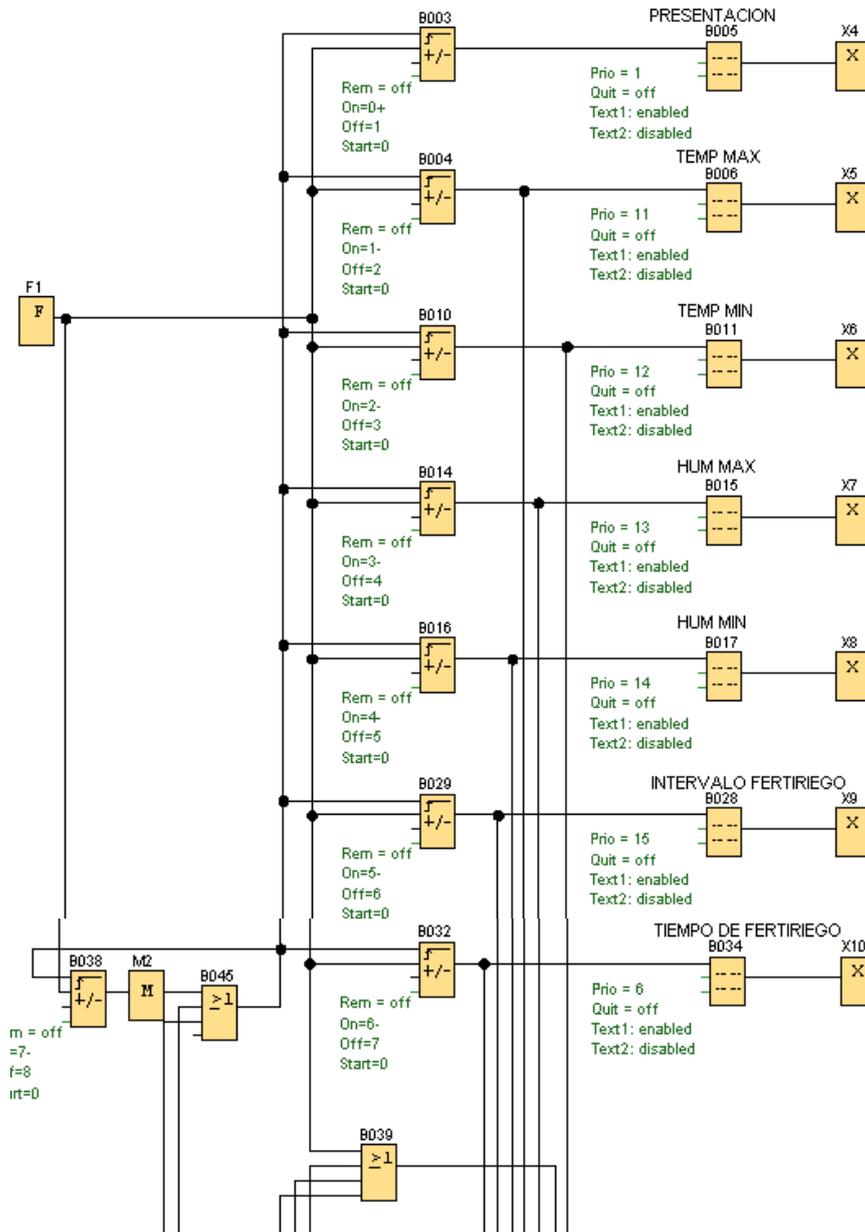


Figura 51 Programacion de pantallas de configuracion

Al Ingresar a las pantallas de configuración por medio de la tecla de función F1 del LOGO TD, ingresaremos a las pantallas donde se pondrá configurar los valores máximos y mínimos de temperatura y humedad, como también los intervalos y tiempos de fertilización.



Figura 52 Configuración de pantalla de Presentación

En cada pantalla de configuración tendremos en la parte superior el título del rango que vamos a configurar seguido del valor actual.

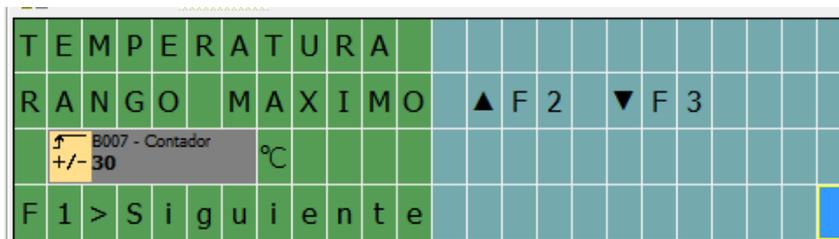


Figura 53 Configuración de pantalla de Temperatura Rango Máximo.

En las pantallas de configuración nos mostrara que podemos aumentar o disminuir el valor actual por medio de las teclas de función F2 y F3; y podemos continuar a la siguiente pantalla con F1.

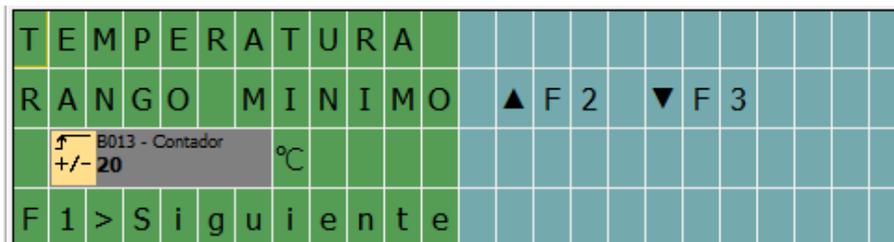


Figura 54 Configuración de pantalla de Temperatura Rango Mínimo

En el caso de la temperatura el valor ingresado se encontrará en Grados centígrados

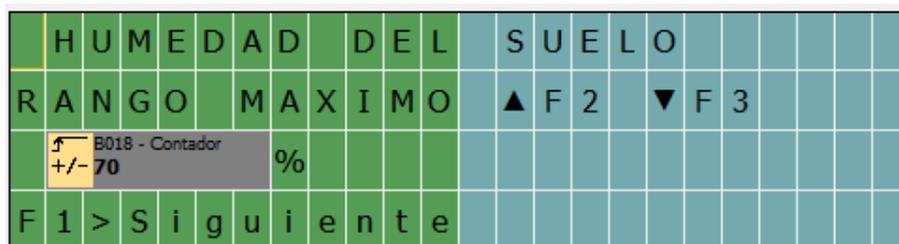


Figura 55 Configuración de pantalla de Humedad Rango Máximo

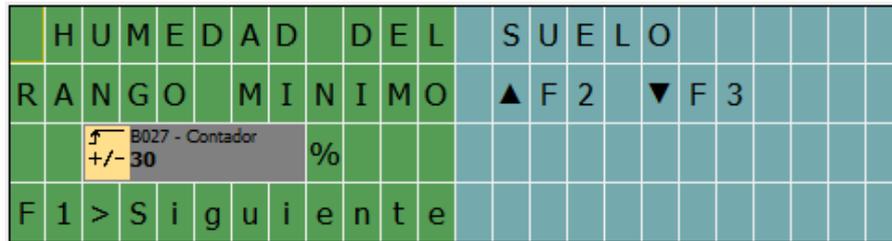


Figura 56 Configuración de pantalla de Humedad Rango Mínimo

En el caso de la Humedad del suelo los rangos ingresados se mostrarán en porcentaje.

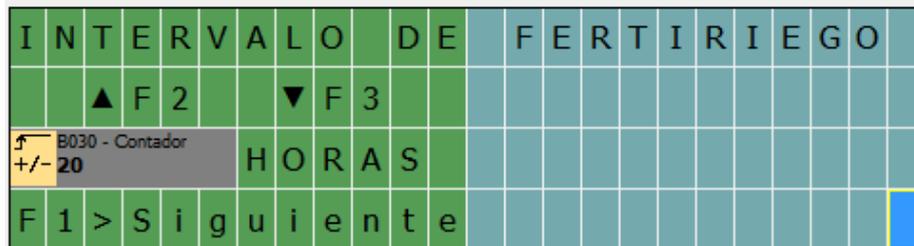


Figura 57 Configuración de pantalla de Intervalo de Fertiriego

En el caso del Fertiriego se ingresarán el intervalo en horas que se requiere que se active el fertiriego y el lapso de tiempo en minutos que se desea permanezca activado.

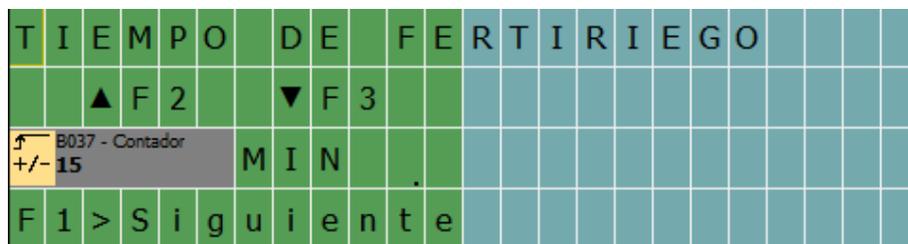


Figura 58 Configuración de pantalla de Tiempo de Fertiriego

#### 5.4.2.2 Pantallas de estado

Estas pantallas mostrarán en los estados que se encuentran las lecturas de los sensores tanto de temperatura como de humedad, y también el estado de nuestros actuadores como son el motor y las válvulas. Estas pantallas de estados se mostrarán al presionar la tecla de función F4, o se accionarán de manera automática después de transcurrir un tiempo de inactividad

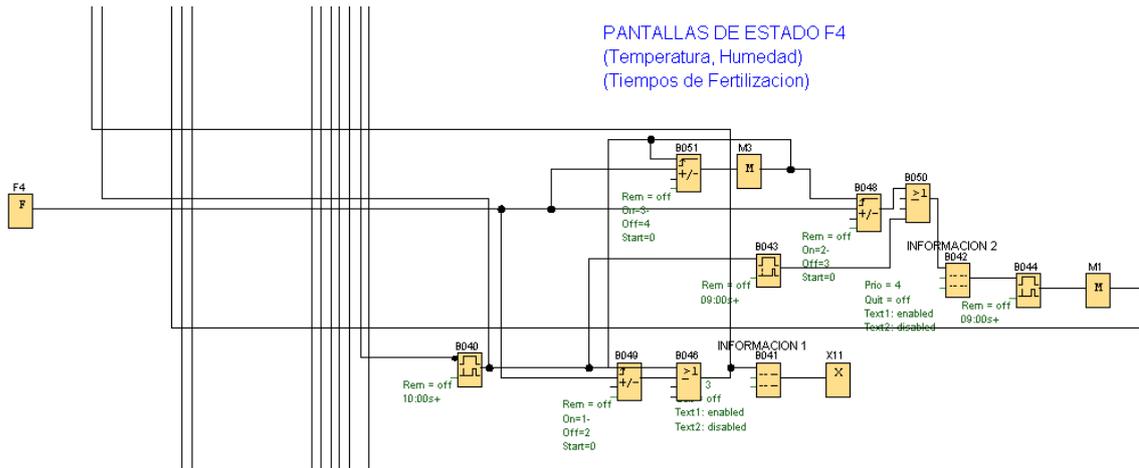


Figura 59 Programación pantallas de Estado

En las pantallas de estado se mostrarán el estado de los actuadores, es decir si la ventana y válvula de riego se encuentran abiertas o cerradas y también nos mostraran el valor actual de temperatura y de humedad.

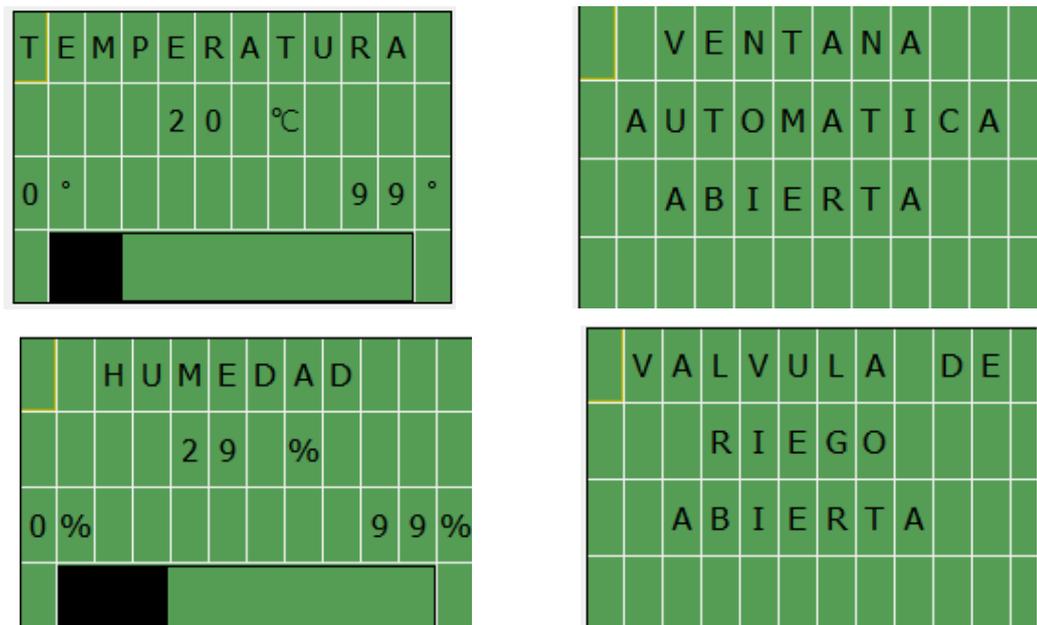


Figura 60 Pantallas de Estado

Estas pantallas podrán activarse presionando la Tecla de función F4 del LOGO TD, o se accionaran de manera automática cada 10 segundos si no se presiona ninguna tecla.

### 5.4.3 Etapa De Ingreso Y Modificación De Rangos

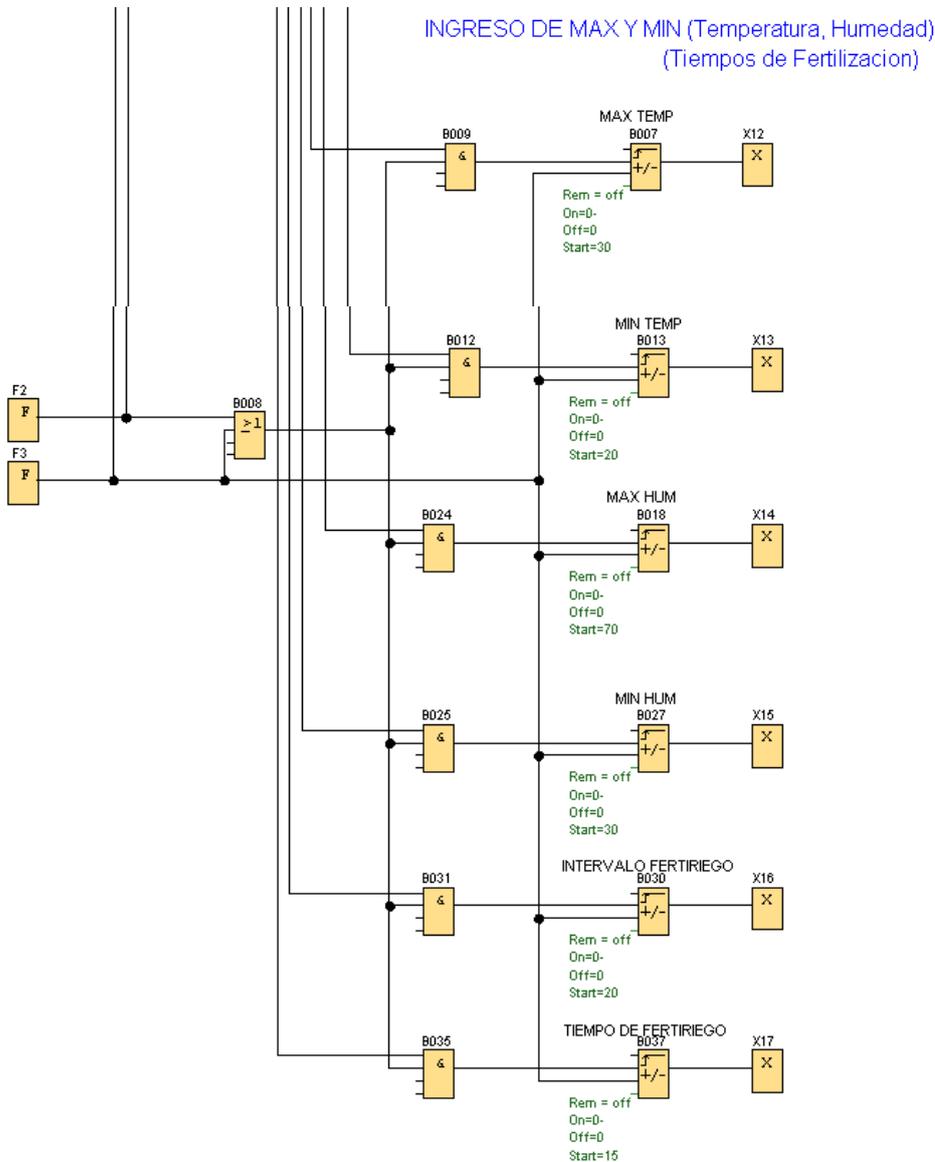


Figura 61 Programación de Ingreso de máximos y mínimos

Para Ingresar o modificar los valores de los rangos tanto de temperatura, humedad o fertilización, se utilizarán las entradas a través de las teclas de función F2 y F3. Las cuales ingresarán a contadores que se activarán en función de la pantalla de configuración que se encuentre activa, estos valores se utilizan para configurar el valor Umbral ON y Off de los Bloques de Conmutador analógico de valor umbral, que se encuentran en la etapa de accionamiento.

## CAPITULO VI

### OBSERVACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se dan a conocer los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, así como una comparación con resultados previos a la automatización.

#### 6.1 Análisis Previo a la Automatización

##### 6.1.1 Análisis de Temperatura

Para dar inicio al análisis, se obtuvieron datos del sistema sin controlar ni automatizar. Dichos datos fueron obtenidos por medio de un termómetro digital. Lo cual permitió obtener los siguientes datos de tablas de los mismos que se obtuvieron las gráficas de Temperatura.

PREVIO A LA AUTOMATIZACIÓN	
FECHA: Sábado 15 de Septiembre del 2012	
Hora	Temperatura
9:00	19
9:10	18
9:20	19
9:30	23
9:40	21
9:50	26
10:00	23
10:10	27
10:20	24
10:30	32

10:40	36
10:50	28
11:00	32
<b>Hora</b>	<b>Temperatura</b>
14:00	34
14:10	32
14:20	34
14:30	34
14:40	28
14:50	29
15:00	34
15:10	33
15:20	32
15:30	32
15:40	33
15:50	31
16:00	32

Tabla IV Lecturas de Temperatura obtenidas el 15 de Septiembre del 2012

Las pruebas realizadas para el sistema sin controlar y automatizar, se realizaron el 15 de Septiembre del 2012, en un día despejado. Iniciando las pruebas en la mañana a las 09:00 horas hasta las 11:00 horas y en la tarde desde las 14:00 horas hasta las 16:00 horas. En intervalos de 10 minutos, con un total de 26 muestras.

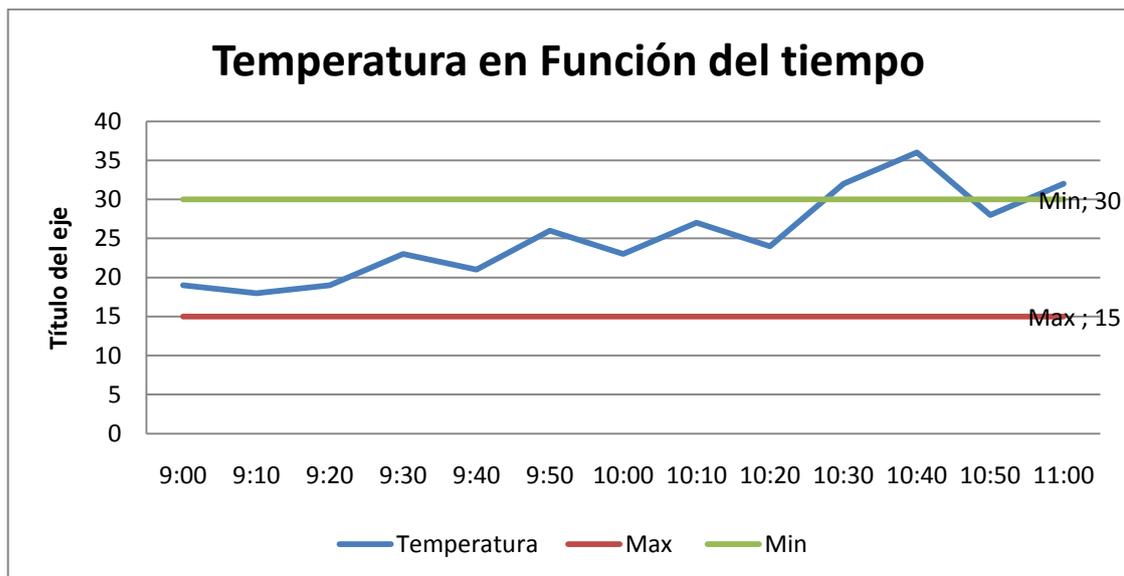


Figura 62 Gráfica de temperatura de 9:00 a 11:00

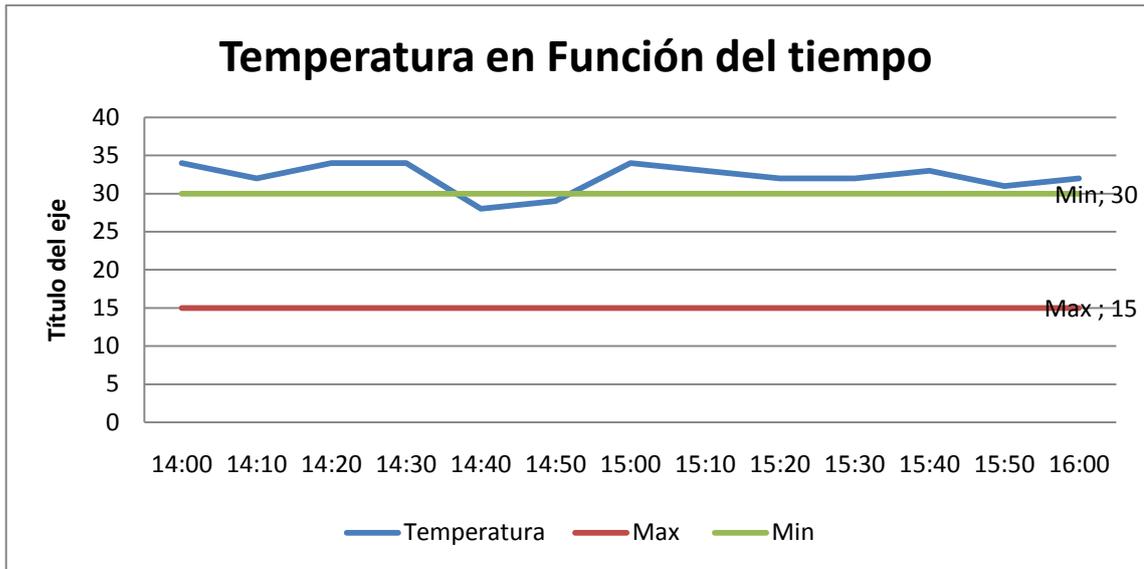


Figura 63 Gráfica de temperatura de 14:00 a 16:00.

Los resultados de esta prueba indican que el comportamiento del sistema es de mal desempeño, ya que se sobrepasa los valores de los rangos óptimos promedio necesarios de temperatura vital para las plantas del invernadero.

### 6.1.2 Análisis de Humedad del Suelo

Para obtener datos de la humedad del suelo, se precisó la ayuda del lector Demhorst el cual entrega valores de Humedad del suelo en rangos de 0 a 100. Estas pruebas se realizaron al igual que temperatura, obteniéndose 26 muestras.

#### REGISTRO DE HUMEDAD PREVIO A LA AUTOMATIZACION

FECHA: Sábado 15 de Septiembre del 2012

Hora	Humedad
9:00	85
9:10	85
9:20	85
9:30	85
9:40	85
9:50	84
10:00	84
10:10	84
10:20	83

10:30	83
10:40	82
10:50	81
11:00	81
<b>Hora</b>	<b>Humedad</b>
14:00	72
14:10	72
14:20	70
14:30	69
14:40	69
14:50	69
15:00	69
15:10	68
15:20	68
15:30	68
15:40	68
15:50	67
16:00	67

Tabla V Lecturas de Humedad obtenidas el 15 de Septiembre del 2012

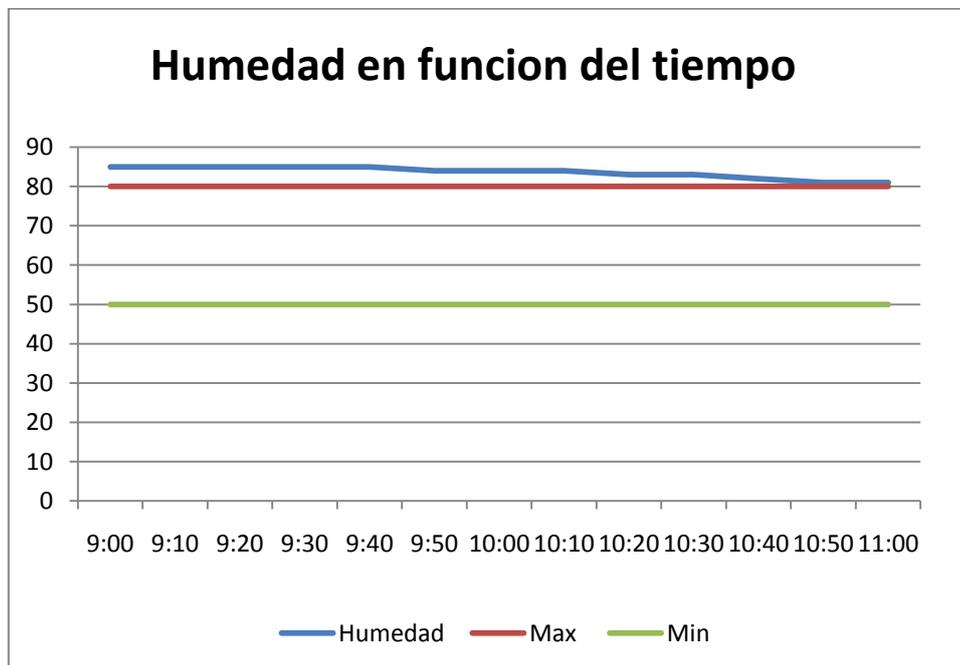


Figura 64 Gráficas de Humedad de 9:00 en 11:00

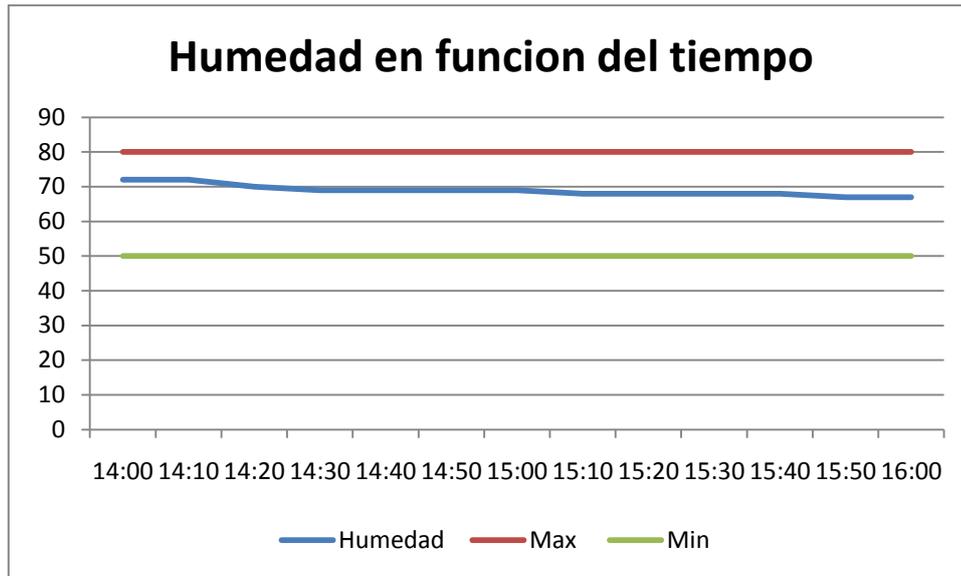


Figura 65 Gráficas de Humedad de 14:00 en 16:00

Los resultados de esta prueba muestran claramente cómo en momentos se puede llegar a sobrepasar los márgenes de valores requeridos de humedad para mantenerse en el rango del confort hídrico que son de 50%-80% de humedad, llegando a sobre humedecer el suelo. También podría darse el caso contrario en donde podría existir una falta de humedad del suelo.

## 6.2 Análisis de Resultados de la Automatización

Pasando a los resultados obtenidos con el sistema controlado y automatizado, hemos obtenido datos de una manera sencilla por medio de los registros que guarda el LOGO, de donde hemos tomado estos datos para obtener los resultados tanto en el caso de Temperatura como de Humedad. De donde se ha tomado valores cada 30 minutos a partir de las 6:00 horas hasta las 20:00.

### 6.2.1 Análisis de Temperatura

Para este análisis se ha tomado datos en dos días donde por las temperaturas obtenidas los hemos catalogado como día Templado y día Cálido. Como se puede observar el comportamiento de la temperatura en un día templado se mantuvo en los rangos

establecidos, esto quiere decir que el sistema funciono adecuadamente.

RESULTADOS DE LA AUTOMATIZACION

DIA TEMPLADO	
FECHA: Martes 30 de Octubre del 2012	
Hora	Temperatura
6:00	13
6:30	14
7:00	17
7:30	15
8:00	18
8:30	19
9:00	19
9:30	17
10:00	27
10:30	24
11:00	30
11:30	26
12:00	22
12:30	24
13:00	23
13:30	22
14:00	20
14:30	25
15:00	24
15:30	24
16:00	23
16:30	20
17:00	25
17:30	19
18:00	17
18:30	17
19:00	14
19:30	13
20:00	12

Tabla VI Lecturas de Temperatura adquiridas el 30 de Octubre del 2012

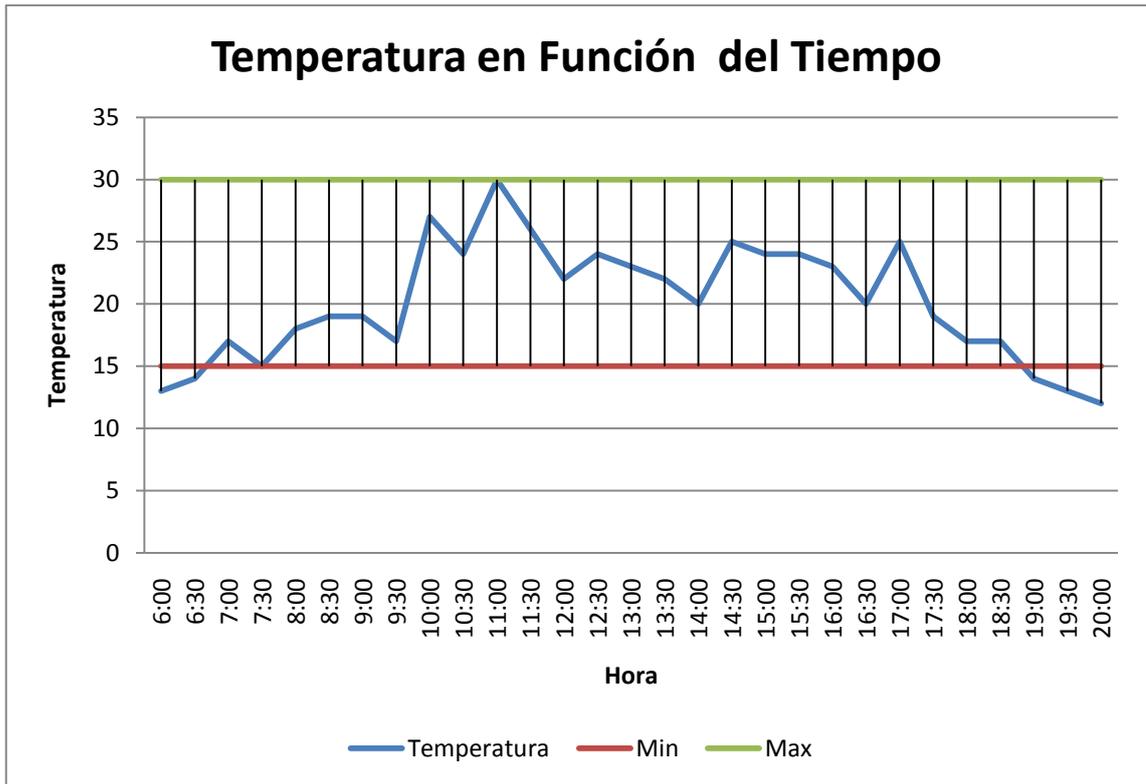


Figura 66 Gráfica de temperatura (Día templado).

Además de analizar los resultados en un día templado también se lo realizó en un día cálido donde en momentos la temperatura sobrepasa claramente los rangos configurados de temperatura, esto se debe a que el control depende de la temperatura externa, la cual deberá tener una disminución del clima fuera del invernadero, para también obtener cambios en su interior.

#### RESULTADOS DE LA AUTOMATIZACION

DIA CALIDO	
FECHA: Sábado 03 de Septiembre del 2012	
Hora	Temperatura
6:00	13
6:30	13
7:00	15
7:30	17
8:00	18
8:30	19
9:00	19
9:30	26

10:00	21
10:30	29
11:00	31
11:30	28
12:00	26
12:30	27
13:00	28
13:30	30
14:00	28
14:30	26
15:00	31
15:30	25
16:00	23
16:30	28
17:00	26
17:30	17
18:00	16
18:30	14
19:00	13
19:30	12
20:00	12

Tabla VII Lecturas de Temperatura adquiridas el 03 de septiembre del 2012

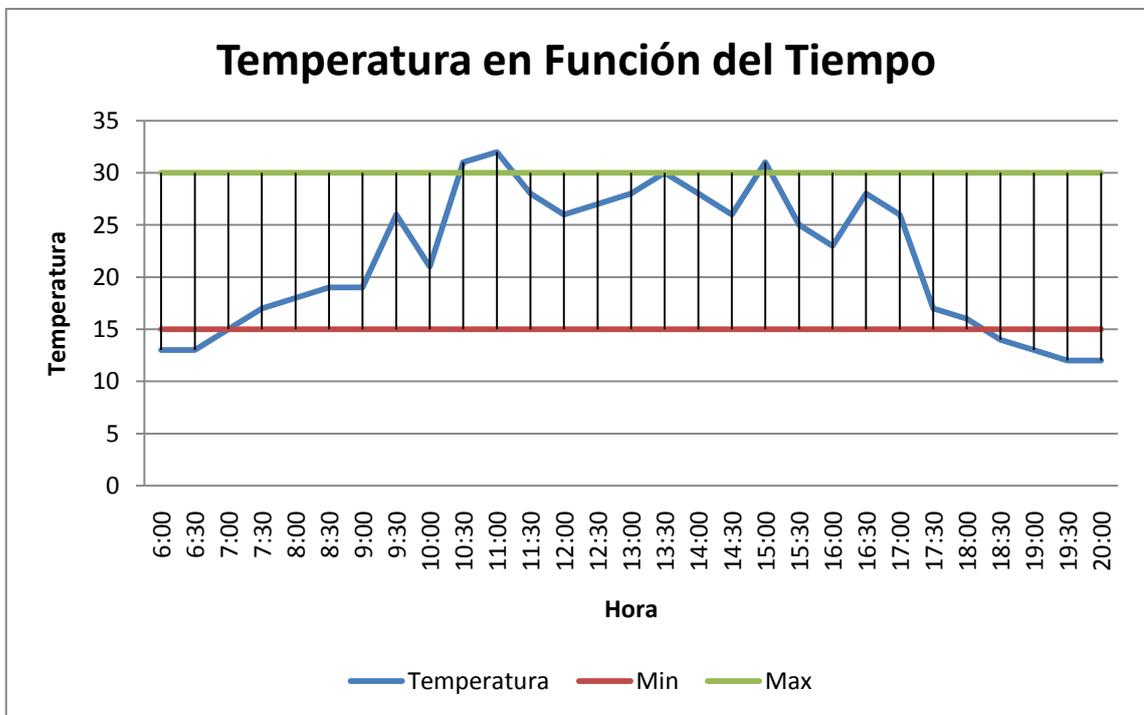


Figura 67 Gráfica de temperatura (Día Cálido).

### 6.2.2 Análisis de humedad del Suelo

Los valores de humedad de la tabla demuestra la eficiencia existente en el control de riego del sistema al no tener un margen de error sobre ninguno de los niveles máximos y mínimos configurados

RESULTADOS DE LA AUTOMATIZACION	
HUMEDAD	
FECHA: Martes 30 de Octubre del 2012	
Hora	Humedad
8:00	63
8:30	63
9:00	62
9:30	61
10:00	58
10:30	58
11:00	57
11:30	55
12:00	52
12:30	51
13:00	50
13:30	56
14:00	63
14:30	66
15:00	72
15:30	78
16:00	81
16:30	81
17:00	80
17:30	78
18:00	78
18:30	77
19:00	75
19:30	74
20:00	73

Tabla VIII Lecturas de Humedad adquiridas el 30 de octubre del 2012

En la gráfica se puede observar claramente como a diferencia de la temperatura, el riego se mantiene en los rangos establecidos, por lo cual no existirá un riego saturado, y se

mantendrá en el confort hídrico. Esto se debe a que los cambios de Humedad no tienen cambios abruptos, sino más bien cambios bastante uniformes los cuales son de fácil lectura, lo que permite al control poder tener una buena precisión.

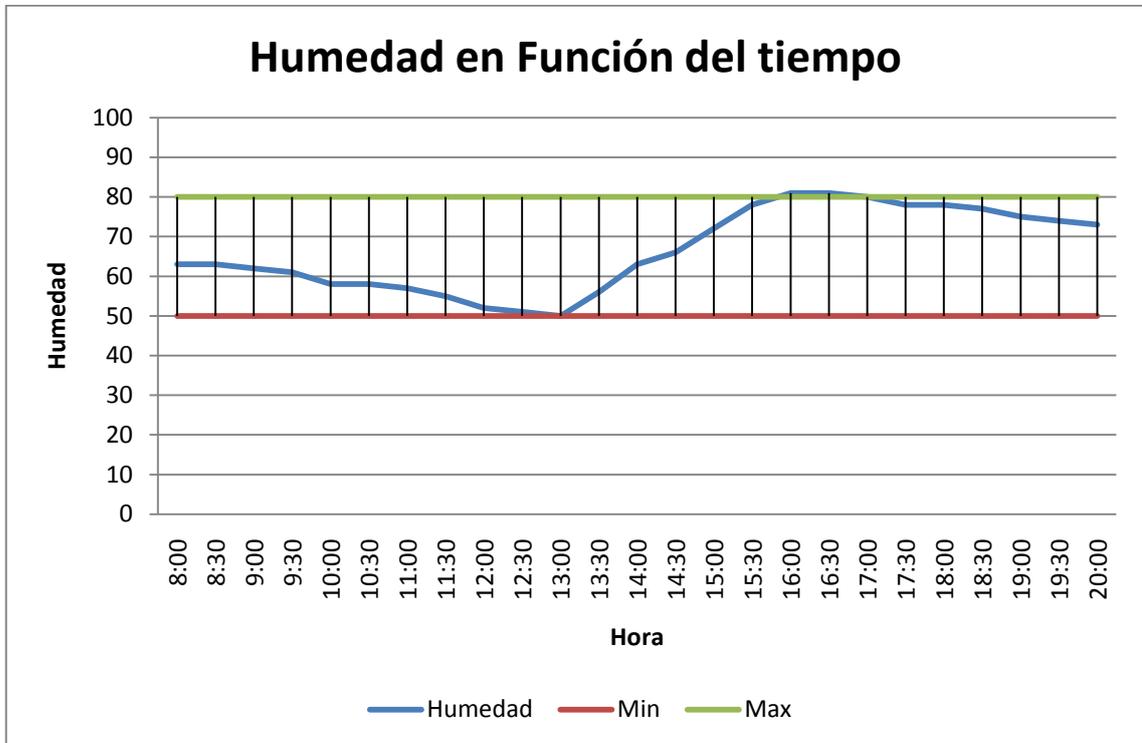


Figura 68 Grafica de Humedad.

## Conclusiones

- Se ha desarrollado un sistema de automatización que induce el control de las condiciones climáticas como lo es la temperatura y humedad del suelo del invernadero del Centro Experimental de Riego, dedicado a investigación agraria. El empleo de un autómata programable junto con sensores y actuadores, satisface las exigencias impuestas por la importancia del Centro. Asimismo, la utilización de una TD (Text Display) facilita la interacción del usuario y el sistema y la eminente obtención de los objetivos que se planteen.
- Se logró establecer una secuencia de procesos automatizados, capaz de proporcionarle, a los productos agrícolas objeto de la investigación, condiciones que permitan, a un sistema de riego de clasificación automática reconocer el exceso o en su defecto deficiencia de humedad, y ubicar la cantidad de agua precisa a las necesidades presentes en la investigación del Centro Experimental de Riego.
- Se ha desarrollado un sistema integrado de sensores, actuadores y su controlador, el mismo que satisface los requerimiento del control de humedad de suelo en el invernadero del Centro Experimental del Riego, mediante el control On /Off con histéresis donde el usuario designa los valores referenciales y como resultado se obtiene el control del riego, para obtener la humedad requerida en las investigaciones desarrolladas en el mismo.
- Se implementó un sistema de control, conjuntamente con el uso de una TD compatible con el controlador y de una interfaz sencilla para el usuario, con visualización de los valores en tiempo real tanto de temperatura como de humedad, que ayuda a simplificar el flujo de trabajo y resulta en un proceso de fácil ejecución, con menos intervención de personal, lo que reduce significativamente los costos y errores, y disminuye la necesidad de mano de obra calificada.

## **Recomendaciones**

- Es recomendable realizar estudios de factibilidad para la implementación de energías renovables en la ejecución de los procesos propios del centro experimental de riego.
- Se recomienda a las autoridades de la Politécnica la pronta gestión en la entrega de recursos para proyectos de gran importancia como lo son los planificados por el primer Centro Experimental de Riego.
- Es recomendable la revisión periódica constante de los filtros de agua existentes, lo que evitará futuros daños en las válvulas de control implementadas en el proyecto.
- Se recomienda la implementación de un sistema de calefacción que trabaje conjunto con la ventilación de las ventanas, para controlar de mejor manera la temperatura.
- Se recomienda para futuras investigaciones de automatizaciones de invernaderos, realizar un estudio detallado donde se considere controlar todas las variables que contribuyen en el mantenimiento del microclima interno de la estructura y el aprovechamiento de los recursos que ofrecen los controladores en la obtención de los datos necesarios para la investigación

## **Resumen**

Uno de los principales objetivos de este proyecto es solucionar los problemas que presentan los invernaderos para mantener las variables que intervienen en su climatización, controladas en forma permanente. Y en este caso específicamente se centró en solucionar las dificultades que enfrenta el Centro Experimental de Riego, que al ser Investigativo y tener que variar factores como Temperatura, Fertiriego y Humedad, en rangos que pueden salirse de lo habitual, de acuerdo a la investigación que se requiera.

Los resultados obtenidos por medio de los datos registrados a través del LOGO! en el desarrollo del proyecto, mediante el método de análisis de capacidad nos muestran una eficiencia del 90% en el mantenimiento de la humedad del suelo dentro del invernadero, todo esto de acuerdo a los parámetros establecidos por el usuario.

Se ha optado en este proyecto por realizar el control de la automatización del invernadero con la ayuda de un Controlador Lógico Programable, el cual nos permitirá poder obtener las lecturas de las variables involucradas en el proceso a través de sensores de temperatura y humedad, para poder controlar las válvulas de riego y los contactores que se encargaran del cambio de giro del motor para las ventanas.

Es recomendable realizar estudios de factibilidad para la implementación de energías renovables en la ejecución de los procesos propios del centro experimental de riego.

## SUMMARY

One of the main objectives of this Project is to solve problems presented by the greenhouses to keep the variables involved air conditioning, controlled permanently. In this specific case, to solve difficulties to the Irrigation Experimental Center, which when research and have several factors such as temperature, humidity and fertigation in ranges, can get away than usual according to research required.

The results achieved by means of the data recorded through the logo in the project development, show 93% efficiency in the maintenance of temperature within the greenhouse, because the system has developed a dependence factor external climatic factor, according to the parameters established by the user.

It has been chosen in this project by making the control of greenhouse automation with the assistance of Programmable Logic Controller will allow to obtain readings of the variables involved in the process through temperature and humidity sensors to control irrigation valves and contactors which are responsible for engine shifting for windows.

It this recommended feasibility studies for the implementation of renewable energy during execution of the processes of the Experimental Centre watering.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. **CAMPOS, D.**, Agroclimatología cuantitativa de cultivos (en formato PDF)., D.F-México., S.A. de C.V., 2005., Pp. 17-89.
2. **OGATA, K.**, Ingeniería de control moderna 4ED., Madrid-España., Prentice-Hall., 2010., Pp. 36-40, 64-68, 70-72.

## **BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET**

### **3. TIPOS DE INVERNADERO**

[http://canales.ideal.es/canalagro/datos/industria\\_auxiliar/tipo\\_invernaderos3](http://canales.ideal.es/canalagro/datos/industria_auxiliar/tipo_invernaderos3)

2012/09/10

### **4. CINTA DE GOTEO AUTOCOMPENSADA**

[http://media.toro.com/CatalogDocuments/Product%20Literature/ALT102\\_AqTrxx\\_PC\\_Brc\\_SP.pdf](http://media.toro.com/CatalogDocuments/Product%20Literature/ALT102_AqTrxx_PC_Brc_SP.pdf)

2012/08/08

### **5. AVANCES EN EL CONTROL DE LOS FACTORES DEL CLIMA PARA EL CULTIVO EN INVERNADERO**

<http://es.scribd.com/doc/86782488/invernadero>

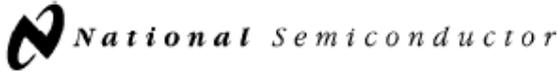
2012/09/15

### **6. PRINCIPIOS DEL RIEGO POR GOTEO**

[www.ece.uprm.edu/~m\\_goyal/.../cap06goteoppt.pdf](http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/.../cap06goteoppt.pdf)

2012/08/06

# ANEXOS



December 1994

## LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D Precision Centigrade Temperature Sensors

### General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  at room temperature and  $\pm 3/4^\circ\text{C}$  over a full  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only  $60\ \mu\text{A}$  from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^\circ\text{C}$  in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40^\circ$  to  $+110^\circ\text{C}$  range ( $-10^\circ$  with improved accuracy). The LM35 series is

available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-202 package.

### Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear  $+ 10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$  scale factor
- $0.5^\circ\text{C}$  accuracy guaranteeable (at  $+25^\circ\text{C}$ )
- Rated for full  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than  $60\ \mu\text{A}$  current drain
- Low self-heating,  $0.08^\circ\text{C}$  in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  typical
- Low impedance output,  $0.1\ \Omega$  for  $1\ \text{mA}$  load

### Connection Diagrams

TO-46  
Metal Can Package\*

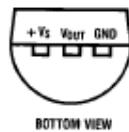


TL/H/5516-1

\*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH,  
LM35CH, LM35CAH or LM35DH  
See NS Package Number H03H

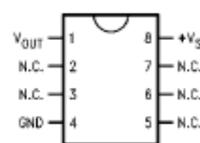
TO-92  
Plastic Package



TL/H/5516-2

Order Number LM35CZ,  
LM35CAZ or LM35DZ  
See NS Package Number Z03A

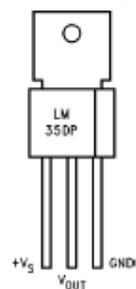
SO-8  
Small Outline Molded Package



TL/H/5516-21

Top View  
N.C. = No Connection  
Order Number LM35DM  
See NS Package Number M08A

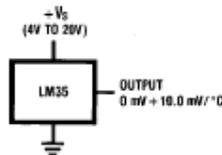
TO-202  
Plastic Package



TL/H/5516-24

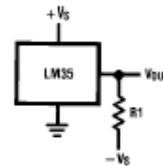
Order Number LM35DP  
See NS Package Number P03A

### Typical Applications



TL/H/5516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade  
Temperature  
Sensor ( $+2^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$ )



TL/H/5516-4

Choose  $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$

$V_{OUT} = +1,500\ \text{mV}$  at  $+150^\circ\text{C}$   
 $= +250\ \text{mV}$  at  $+25^\circ\text{C}$   
 $= -550\ \text{mV}$  at  $-55^\circ\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade  
Temperature Sensor

TRE-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

# Hoja de datos Sensor de humedad Watermark

## INTRODUCCIÓN

Watermark es una nueva tecnología que nace de una conjunción entre la tensiometría y el antiguo bloque de yeso, sin tener los problemas de este último por su disolución en el suelo y por su poca sensibilidad en los rangos de baja tensiometría.

El agua de suelo se encuentra siempre bajo tensión **salvo** cuando está saturado que se desplaza por gravedad.

Apenas el suelo no está saturado se desplaza por fuerzas de succión y su peso ya no cuenta. El agua migra hasta que las fuerzas de succión se equilibran.

Es el juego de estas tensiones las que permiten el ascenso capilar, la rehumectación, la alimentación de las raíces etc.

La sonda Watermark se pone en equilibrio de tensión con el suelo que la rodea.

El medio interno de la sonda Watermark responde linealmente a un gran rango de tensión y neutraliza el efecto de la salinidad. Posee dos electrodos que permiten lecturas de 500 a 30.000 ohms.

Desde hace varios años científicos y agricultores verificaron la eficiencia de utilizar la tensiometría a campo en la gestión del riego.

Este método permite conocer la velocidad a la cual el reservorio suelo se vacía y en consecuencia decidir el **MOMENTO** oportuno de riego.

Por medio de las mediciones en profundidad se puede determinar **CUANTO** regar a fin de rehumectar el suelo a la profundidad deseada sin pérdidas ni excesos.

Con las mediciones en superficie se puede prever el comportamiento del suelo a la rehumectación (velocidad de absorción) a fin de determinar el **cómo** regar.

**RANGO DE MEDICIÓN 10-200 centibares**

## 2.0 LECTURAS

Las lecturas se efectúan 3 veces por semana y se anotan en las fichas provistas. De este modo usted podrá trazar la CURVA que es el mejor método de visualización.

El monitor compensa las lecturas por la temperatura. Sea preciso en la lectura de la temperatura.

Piense que la variación puede llegar a 1,5 % por cada °C.

### 2.1 SIGNIFICADO DE LAS LECTURAS

0 - 10 cb : suelo saturado

10 - 20 cb : resumido

20 - 50 cb : confort hídrico

50 - 100 cb : arrancar el riego según tipo de suelo.

### 3.0 CUANDO REGAR

Las lecturas Watermark permiten seguir el ritmo de agotamiento en distintas profundidades.

En general el alerta está dado por la sonda de superficie.

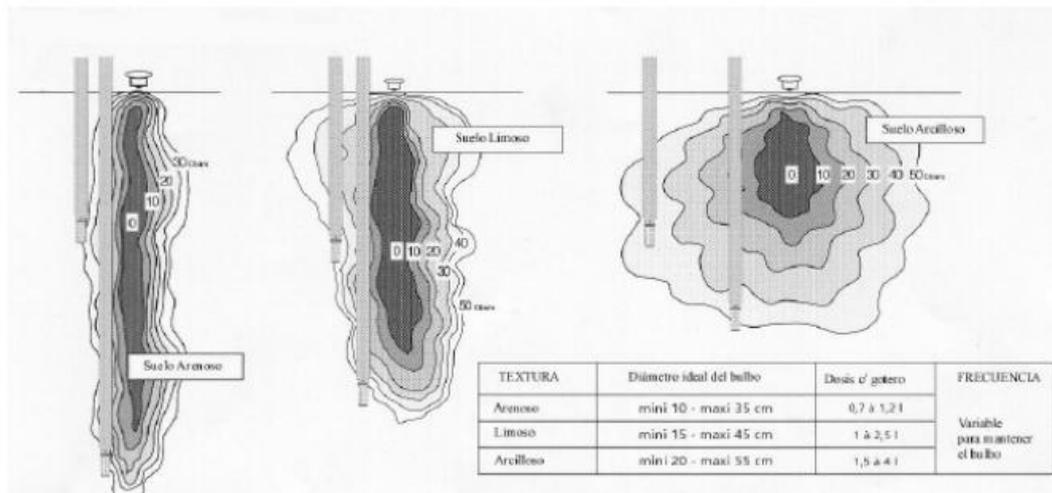
En riego intensivo los rangos sugeridos aseguran un "confort" hídrico.

Al volcar los datos a un gráfico podrá tomar decisiones más acertadas.

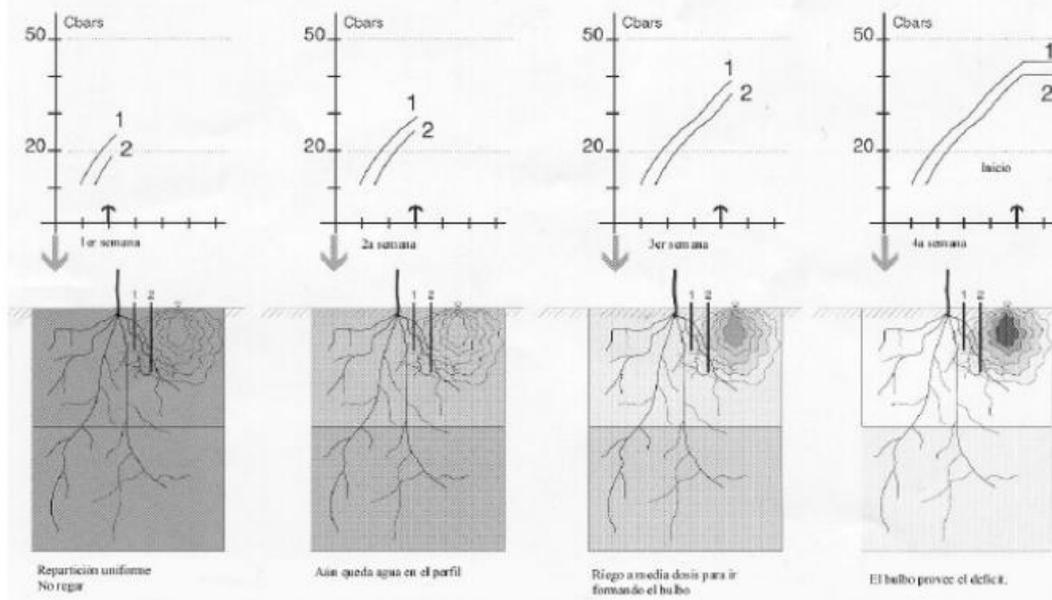
### 3.1 SUGERENCIAS PARA ARRANQUE DE RIEGO

	RIEGO INTENSIVO.	RIEGO EXTENSIVO
ARENOSO	30-40 cb	50 cb
LIMOSO	40-50 cb	70 cb
ARCILLOSO	50-70 cb	100 cb

#### RIEGO POR GOTEO



#### INICIO RIEGO POR GOTEO



# Especificaciones Básicas De LOGO!

## Esto es LOGO!

LOGO! es el módulo lógico universal de Siemens que incorpora:

- Controles
- Panel de mando y display retroiluminado
- Fuente de alimentación
- Interfaz para módulos de ampliación
- Interfaz para tarjetas o cables, de acuerdo con la serie de dispositivos:
  - Para 0BA6: interfaz para una tarjeta de memoria, tarjeta de batería, tarjeta de memoria/batería combinada, cable PC LOGO! o cable PC USB
  - Para 0BA7: interfaz para una tarjeta SD
- Interfaz para un visualizador de textos (TD) opcional
- Funciones estándar preconfiguradas, p. ej. retardo a la conexión, retardo a la desconexión, relé de impulsos e interruptor software
- Temporizadores
- Marcas digitales y analógicas
- Entradas y salidas en función del tipo de dispositivo

LOGO! 0BA7 incluye adicionalmente los siguientes componentes:

- Interfaz para la comunicación Ethernet
- Borne PE para conectar la toma de tierra
- Dos LEDs para señalar el estado de la comunicación Ethernet

## LOGO! puede hacerlo

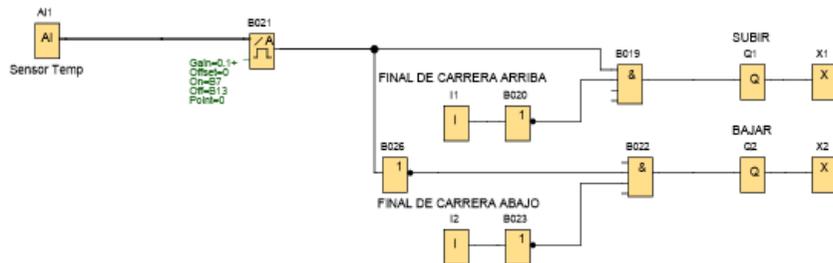
LOGO! ofrece soluciones para aplicaciones domóticas y de técnica de instalación (p. ej. alumbrado de escaleras, iluminación exterior, toldos, persianas, alumbrado de escaparates, etc.), así como para ingeniería mecánica y construcción de máquinas y aparatos (p. ej. sistemas de control de puertas, sistemas de climatización, bombas para agua pluvial, etc.).

LOGO! también puede implementarse para sistemas de control especiales en invernaderos o invernáculos, para el procesamiento de señales de control y, mediante la conexión de un módulo de comunicación (p. ej. AS-I), para el control distribuido local de máquinas y procesos.

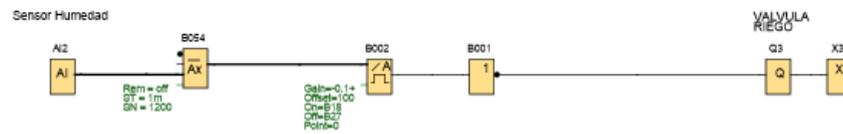
Para aplicaciones de producción en serie de máquinas pequeñas, aparatos y armarios eléctricos, así como en la técnica de instalación, existen versiones especiales sin panel de mando ni display.

## Programación en bloques de función, Logo!Soft Comfort.

### ACCIONAMIENTO MOTOR DE VENTANAS



### ACCIONAMIENTO VALVULA DE RIEGO

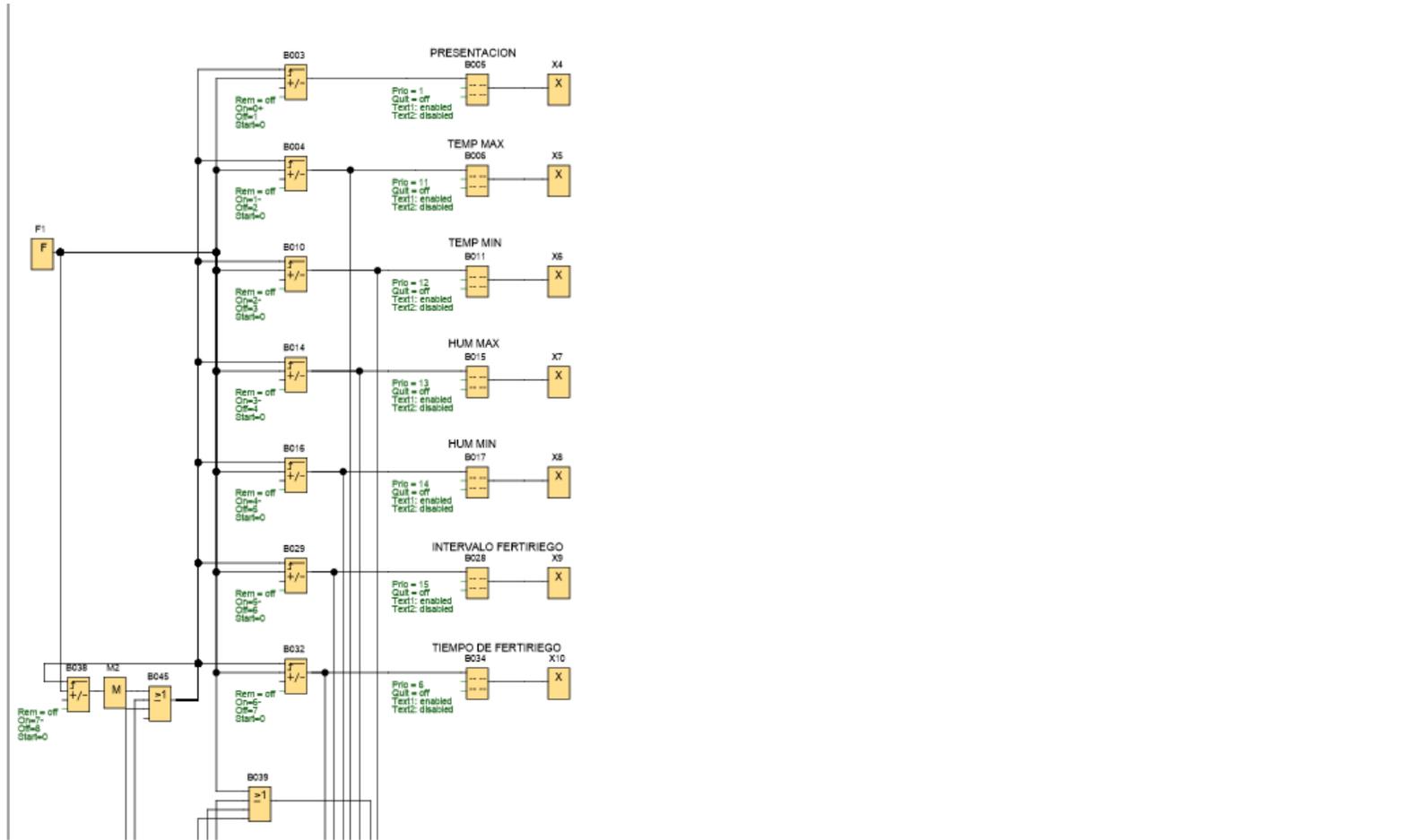


### ACCIONAMIENTO VALVULA DE RIEGO



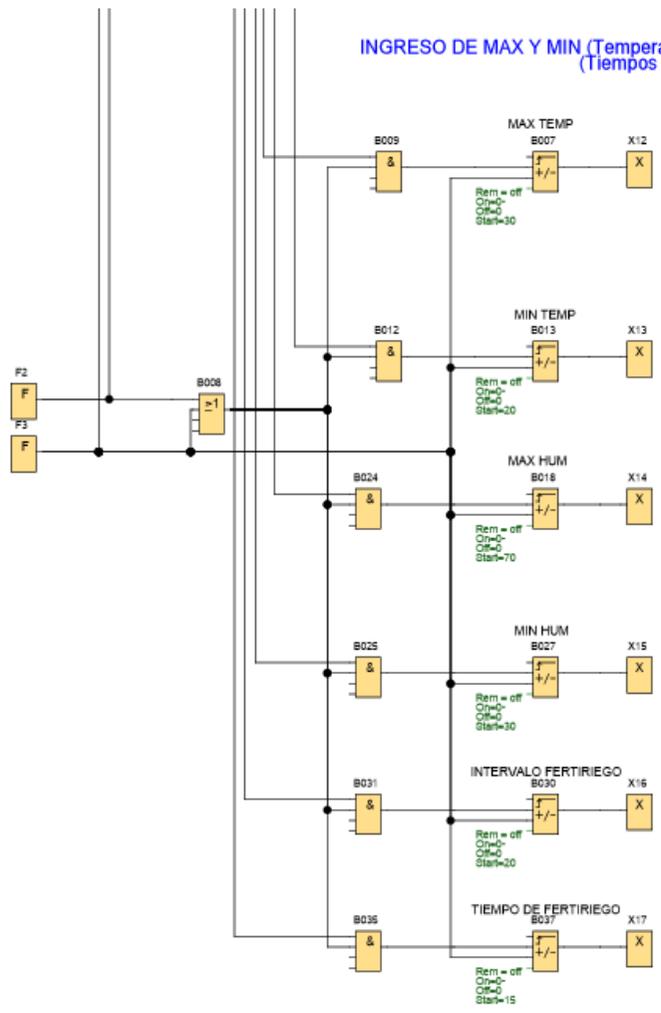
### TEMPORIZADOR REGISTRO







INGRESO DE MAX Y MIN (Temperatura, Humedad)  
(Tiempos de Fertilización)



## MANUAL DE USUARIO

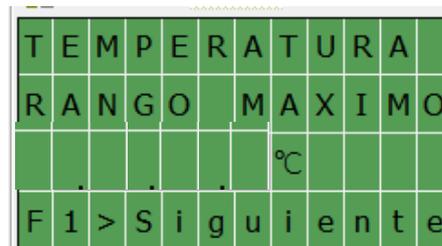
### SISTEMA AUTOMATIZADO DE RIEGO - CER

Al Ingresar a las pantallas de configuración por medio de la tecla de función **F1** del, ingresaremos a las pantallas donde se pondrá configurar los valores máximos y mínimos de temperatura y humedad, como también los intervalos y tiempos de fertilización.



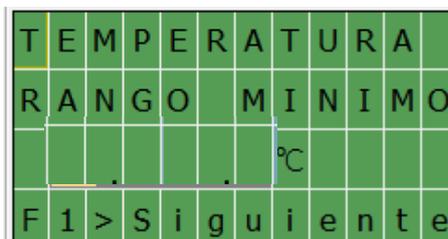
Configuración de pantalla de Presentación

En cada pantalla de configuración tendremos en la parte superior el título del rango que vamos a configurar seguido del valor actual.



Configuración de pantalla de Temperatura Rango Máximo.

En las pantallas de configuración nos mostrara que podemos aumentar o disminuir el valor actual por medio de las teclas de función **F2** y **F3**; y podemos continuar a la siguiente pantalla con **F1**.



Configuración de pantalla de Temperatura Rango Mínimo

En el caso de la temperatura el valor ingresado se encontrará en Grados centígrados, y en el caso de la humedad los valores se darán en porcentaje

	H	U	M	E	D	A	D		D	E	L
R	A	N	G	O		M	A	X	I	M	O
							%				
F	1	>	S	i	g	u	i	e	n	t	e

Configuración de pantalla de Humedad Rango Máximo

	H	U	M	E	D	A	D		D	E	L
R	A	N	G	O		M	I	N	I	M	O
							%				
F	1	>	S	i	g	u	i	e	n	t	e

Configuración de pantalla de Humedad Rango Mínimo

I	N	T	E	R	V	A	L	O		D	E		
		▲	F	2		▼	F	3					
									H	O	R	A	S
F	1	>	S	i	g	u	i	e	n	t	e		

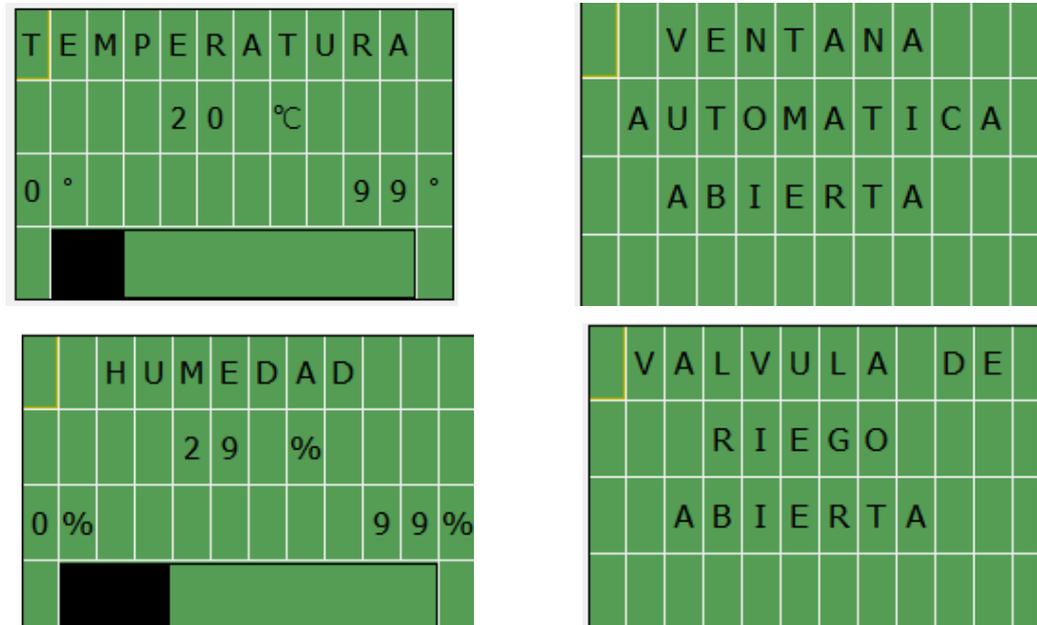
Configuración de pantalla de Intervalo de Fertiriego

En el caso del Fertiriego se ingresarán el intervalo en horas que se requiere que se active el fertiriego y el lapso de tiempo en minutos que se desea permanezca activado.

T	I	E	M	P	O		D	E		F	E
		▲	F	2		▼	F	3			
									M	I	N
F	1	>	S	i	g	u	i	e	n	t	e

Configuración de pantalla de Tiempo de Fertiriego

Con la tecla de función F4 se mostrarán las pantallas de estado de los actuadores, es decir si la ventana y válvula de riego se encuentran abiertas o cerradas y también nos mostrarán el valor actual de temperatura y de humedad.



Pantallas de Estado

Estas pantallas podrán activarse presionando la Tecla de función F4, o se accionaran de manera automática cada 10 segundos si no se presiona ninguna tecla.