

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(CREADO POR LEY N° 25265)



**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

TESIS

**“SISTEMA DE CONTROL DE LA HUMEDAD
RELATIVA PARA UN INVERNADERO UTILIZANDO
EL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

PRESENTADO POR LOS BACHILLERES:

**GODOFREDO ALIAGA MENDOZA
PEDRO ROGELIO QUISPE BOLAÑOS**

PAMPAS 2015



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
(Creada por Ley N° 25265)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el Auditorio de la Facultad de Ingenieria Electrónica - Sistemas, a los 18 días del mes de NOVIEMBRE... del año 2015, a horas 15:30, se reunieron; el Jurado Calificador, conformado de la siguiente manera:

Presidente: Mg. Ing. ANGEL ALMIÓN ELSEBANO

Secretario: Dr. JAVIER FRANCISCO MÁRQUEZ CAMARENA

Vocal: Ing. JAVIER ALFREDO HERRERO MORALES

Ratificados con Resolución N° 256-2015-FIES-UNH; del: proyecto de investigación (Tesis), Titulado: " SISTEMA DE CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA PARA UN INVERNADERO UTILIZANDO EL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE "

Cuyos autores son los graduado (s):

BACHILLER (S): GODOFREDO ALIAGA MENDOZA
PEDRO ROBERTO QUISEP BOLAÑOS

A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del proyecto de investigación, antes citado.

Finalizado la evaluación; se invito al público presente y a los sustentantes a abandonar el recinto; y, luego de una amplia deliberación por parte del jurado, se llegó al siguiente el resultado:

APROBADO POR MAYORIA

DESAPROBADO

En conformidad a lo actuado firmamos al pie.

Presidente

Secretario

Vocal

los

A nuestra querida familia por su apoyo incondicional en nuestra formación profesional.

ÍNDICE

	Página
Portada	i
Dedicatoria	ii
Índice	iii
Índice de Figuras	vi
Índice de Tablas	vii
Resumen	viii
Introducción	ix
CAPÍTULO I	01
PROBLEMA	01
1.1 Planteamiento del problema	01
1.2 Formulación del problema	02
1.2.1 Problema general	02
1.2.2 Problemas específicos	02
1.3 Objetivos: general y específicos	02
1.3.1 Objetivo general	02
1.3.2 Objetivos específicos	02
1.4 Justificación	03
CAPÍTULO II	05
MARCO TEÓRICO	05
2.1 Antecedentes	05
2.1.1 Antecedente internacional	06
2.1.2 Antecedente nacional	12
2.2 Bases Teóricas	12
2.2.1 Control de variables ambientales en el invernadero	12
2.2.1.1 El invernadero	13
2.2.1.2 Invernaderos en el mundo	14
2.2.1.3 Invernaderos en el Perú	15
2.2.1.4 Invernaderos sin un sistema de control	17
2.2.2 Tipos de invernaderos	18

2.2.3	Control de clima en invernaderos	19
2.2.3.1	Sistema de control	19
2.2.4	Parámetros en los sistemas de control de clima	22
2.2.4.1	Temperatura	22
2.2.4.2	Humedad	24
2.2.5	Controladores lógicos programables PLC.	29
2.2.5.1	Componentes básicos de los PLC	29
2.2.5.2	Tipos de PLC	31
2.2.5.3	Programación de un PLC.	31
2.2.6	El controlador lógico programable Simatic S7-200	32
2.2.6.1	Características técnicas	32
2.2.6.2	CPU S7-200	34
2.2.6.3	Módulos de ampliación S7 – 200	35
2.2.6.4	Conexión del S7-200	36
2.2.6.5	Alimentación	36
2.2.6.6	Cableado del S7-200	37
2.2.6.7	Software	38
2.2.6.8	Velocidad de transmisión	38
2.2.6.9	Establecer la comunicación con la CPU S7-200	39
2.2.6.10	Cambiar los parámetros de comunicación de la CPU	39
2.2.6.11	Prueba de funcionamiento	40
2.2.6.12	Transferir el programa al PLC	41
2.2.7	Simulador PLC S7_200. (Versión 3.0 AWL y KOP).	42
2.2.8	Sensor de humedad	45
2.3	Hipótesis	46
2.3.1	Hipótesis general	46
2.3.2	Hipótesis Específicas	46
2.4	Variables de estudio	47
2.4.1	Variable independiente	47
2.4.2	Variable dependiente	47
CAPÍTULO III		48

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	48
3.1 Ámbito de estudio	48
3.2 Tipo de Investigación	49
3.3 Nivel de Investigación	49
3.4 Método de Investigación	49
3.5 Diseño de Investigación	49
3.6 Población, Muestra, Muestreo	50
3.6.1 Población	50
3.6.2 Muestra	50
3.6.3 Muestreo	50
3.7 Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos	52
3.8 Procedimiento de Recolección de Datos	53
3.9 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	53
CAPÍTULO IV	54
RESULTADOS	54
4.1 Presentación de Resultados	54
4.2 Discusión	66
4.2.1 Prueba de la hipótesis	66
Conclusiones	70
Recomendaciones	71
Referencia Bibliográfica	73
ARTÍCULO CIENTÍFICO	75
ANEXOS	83
Regulación PID proporcional/integral/derivativa	84
Humirel	88
IMÁGENES	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Sistema de control de humedad	22
Figura 2.2 Psicométrica esquemática de un proceso de deshumidificación y refrigeración con posterior recalentamiento	27
Figura 2.3 Micro-PLC S7-200	33
Figura 2.4 Conexión de la alimentación del S7-200	36
Figura 2.5 Ajuste de la velocidad de transmisión	38
Figura 2.6 Cuadro de diálogo "Configurar comunicación"	39
Figura 2.7 Cambiar los modos de operación	41
Figura 2.8 Transferencia de programa	41
Figura 2.9 Ventana principal del simulador S7-200	42
Figura 2.10 Ventana de interruptores	43
Figura 2.11 Programa en KOP y resultados de simulación	44
Figura 2.12 Sensor HS1101	45
Figura 2.13 Circuito del sensor de humedad relativa HS1101	46
Figura 4.1 Diagrama de control de la humedad relativa ambiental del invernadero	55
Figura 4.2 Diagrama esquemático del sistema de ventilación accionado por los sensores de humedad relativa ambiental	55
Figura 4.3 Sensor de humedad relativa ambiental	56
Figura 4.4 Curva de respuesta humedad relativa %HR y capacidad en pF	56
Figura 4.5 Lazo de control PID	57
Figura 4.6 Control PI de humedad relativa utilizando PLC S7-200 Siemens	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Temperatura para distintas especies (°C)	23
Tabla 2.2 Niveles climáticos de especies cultivadas en invernadero. Fuente tesis, 1972	25
Tabla 2.3 Características de la CPU S7 – 200	34
Tabla 2.4 Módulos de ampliación S7-200	35
Tabla 2.5 Módulos de expansión	45
Tabla 2.6 Resultados de 45 muestras aleatorias, se utilizó el software SPSS20	51
Tabla 2.7 Resultados de 28 muestras aleatorias, se utilizó el software SPSS20	52
Tabla 4.1 Valores de frecuencia según el porcentaje de humedad	57
Tabla 4.2 Tabla de símbolos	59
Tabla 4.3 Estadística descriptiva datos de entrada experimento	64
Tabla 4.4 Estadística descriptiva datos de salida experimento	64
Tabla 4.5 Pruebas de muestras diferencias relacionadas procesado con el SPSS20	67
Tabla 4.6 Pruebas de muestras independientes para igualdad con el SPSS20	69

RESUMEN

La investigación realizada consiste en llevar a cabo el control de la humedad relativa del aire en el interior de un invernadero para el cultivo de tomates, llevando la variable a un valor previamente determinado como la referencia, mediante la utilización del Controlador Lógico Programable como control principal, este control electrónico del invernadero, maneja los distintos factores de la humedad relativa, leídas por el Controlador Lógico Programable y esta activa los humidificadores y deshumidificadores, se utiliza los sensores HSM-20G para la medición de la variable humedad relativa del aire, esta se muestra donde la señal muestreada es leída por el procesador, y la señal en el procesador verifica si la humedad ha variado, se activa las electroválvulas para así modificar la humedad necesaria.

Para obtener el control se ha realizado el cálculo de las ganancias K_p , K_i y K_d del controlador de tipo PID, dichas ganancias han sido introducidas en la programación del Controlador Lógico Programable obteniendo así el control de la variable deseada mediante la activación y desactivación de las cargas encargadas de aumentar (humidificadores) o disminuir (calefactor) la humedad según sea requerido. Obteniéndose como resultado satisfactorio la regulación dentro del rango útil de 60 al 70 % de la humedad relativa del aire en el invernadero durante el cultivo del tomate.

INTRODUCCIÓN

Se construyó un invernadero piloto el cual tiene una estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro del cual se obtienen condiciones artificiales favorables para producir cultivos agrícolas, así dentro de este se consigue un aislamiento tanto térmico como de agentes contaminantes de cultivos. Es un invernadero para el cultivo de tomates en el que no se distinguen diferentes áreas y en el que cada una de las plantas cultivadas requiere los mismos tratamientos tanto a nivel de alimentación como medioambientales.

El invernadero es controlado y cuenta con dispositivos que permiten regular y modificar las condiciones de la humedad relativa, generando un microclima. La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental, se expresa en tanto por ciento %. Dado que el aire caliente posee la característica de absorber más vapor que el aire frío, las personas sienten que en el invierno el aire es demasiado seco mientras que en verano es muy bochornoso. Cuando la humedad relativa es alta, favorece el desarrollo de enfermedades, se presentan una serie de desórdenes que afectan la calidad de los frutos, como son: manchado, grietas, cara de gato o malformación del fruto y frutos huecos, se dificulta la fecundación por la compactación del polen y además las flores pueden caerse. Cuando la humedad relativa es baja, aumenta la transpiración de la planta, se reduce la fotosíntesis y se seca el polen, produciéndose igualmente anomalías en la fecundación.

Como resultado de la investigación se obtiene un sistema de control automático de humedad relativa para un invernadero, que cuenta con calefacción, ventilación y que permite proteger a los cultivos de los cambios de la humedad relativa que es uno de los factores climáticos, que surge como consecuencia de la presencia de las heladas, granizo, sequías, excesos de viento, y otros factores que perjudican el cultivo del tomate en climas que no es para la producción.

Este invernadero controla la humedad relativa, y así se podrá cultivar plantas todo el año en condiciones óptimas. Permite producir tomates de excelente calidad, rentables (en cualquier época del año) y acorde con las exigencias de los mercados.

El fin de esta investigación es incluir el control automático en un sistema de control de humedad relativa para el cultivo de tomates, de tal manera que permita mejorar su desempeño dinámico y que las variables de interés alcancen los valores deseados. Es decir que la variable humedad, pueda regularse en valores deseados o variar en el tiempo siguiendo una trayectoria definida. Dando una solución que se incluye el uso de un controlador lógico programable con algoritmo de control PID, el cual será el encargado de activar y desactivar mecanismos que permitan la regulación de la humedad relativa.

A lo largo de esta investigación se realizó la programación, simulación de todas estas tareas utilizando para ello un autómata programable S7-200 de Siemens y los paquetes informáticos de simulación S7-200 libre, realizados en el laboratorio de control y automatización de la Escuela Académico Profesional de Electrónica de la Universidad Nacional de Huancavelica.

Como resultado final de la tesis de investigación se consiguió regular la humedad relativa con un controlador PID programado con controlador lógico programable en el rango del 60 al 70 % que es lo óptimo para el desarrollo del cultivo de tomates según investigaciones realizadas tomadas como fuente.

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En este proyecto de investigación se plantea el problema de que la humedad relativa es una variable importante en el desarrollo de las plantas en un invernadero, los tomates no se pueden cultivar en el valle de Pampas por el clima, como solución a este problema se diseñará un sistema de control de la humedad relativa, variable del clima de los invernaderos. En los invernaderos se cultivan plantas indispensables para el consumo humano y que no se pueden obtener en otros lugares por el clima adverso a las plantas, se requieren mantener condiciones climáticas adecuadas debido a que tanto la humedad relativa y la temperatura afectan el rendimiento en el desarrollo de las plantas y esto provoca que se vayan deteriorando poco a poco. Un sistema de control automático de humedad para un invernadero en el valle de Pampas contribuirá con el cultivo de los tomates como otro producto alternativo de alimentación de la población. La población rural del valle de Pampas no cultiva el tomate debido al clima y sea esta fuente de alimentación, la solución a este problema es con los invernaderos automatizados lo que ahorra en la economía de los pobladores de bajos recursos mejorando la alimentación en esta región del Perú. El problema del cultivo de las plantas en climas adversos requiere sistemas automatizados. Por lo tanto hay un problema de como diseñar el control de humedad relativo en un invernadero, para esto es necesario conocer el comportamiento de la humedad en un invernadero para el cultivo de los tomates y como realizar el control de la humedad. En las referencias bibliográficas no hay mucha información para diseñar sistemas de control de humedad relativo del ambiente en un invernadero, pero sí de modelos a partir de

¹ DELGADO López Julio C., Montoya Becerra Jacobo y Sandoval Rodríguez Oscar A. "Control de Temperatura con el PLC S7-200", Tesis de licenciatura en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica (2007).

subsistemas acoplados, utilizando una combinación entre estructuras teóricas y análisis prácticos. También existe un problema en la validación del diseño a partir de datos experimentales.

Se requiere tener invernaderos para ser utilizados en los cultivos de productos del valle estos son importante en la producción agrícola del país, sin embargo la automatización de invernaderos es muy reducida, los pocos proyectos de automatización han llevado a procesos de cultivos más eficientes.

1.2 Formulación del problema

Con el planteamiento del problema detallado anteriormente realizamos la siguiente formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Qué controlador regula la humedad relativa de un invernadero para el cultivo del tomate ubicado en el valle de Pampas?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál es el sistema de control de humedad relativa que se utiliza en un invernadero para el cultivo de tomate ubicado en el valle de Pampas?

¿Qué análisis se realiza para describir el funcionamiento del sistema de control de humedad relativa en un invernadero?

¿Qué componentes intervienen en el sistema de control para regular la humedad relativa en un invernadero para el cultivo de tomates?

1.3. Objetivos: general y específicos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el controlador lógico programable que regula la humedad relativa en un invernadero para el cultivo de tomate ubicado en el valle de Pampas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el tipo de controlador programable que regula la humedad relativa en un invernadero para el cultivo de tomate.
- Realizar el análisis dinámico en el diseño del sistema de control de humedad relativa en un invernadero para el cultivo de tomate en el valle de Pampas.

- Identificar cada uno de los elementos que conforman el sistema de control de humedad relativa en un invernadero para el cultivo del tomate.

1.4. Justificación

Justificación tecnológica

En el Perú existen invernaderos pero la mayoría con sistemas de control de riego, de temperatura y de humedad relativa en forma manual, o bien, dependen del ambiente, lo que disminuye su eficiencia y productividad. Otros en cambio, cuentan con sistema automático para el control de riego, humedad relativa y temperatura, pero la mayoría son de tipo encendido/apagado (on/off), y con la aparición de nuevas tecnologías se puede diseñar sistemas de control que regulan el clima en los invernaderos con mayor precisión en el desarrollo y producción de las plantas.

Justificación teórica

Se justifica el diseño de un sistema de control de humedad relativa del medio ambiente en un invernadero, ya que la tecnología en la fabricación de los elementos de control y de los invernaderos son de mejores características y al investigar obtenemos conocimientos sobre el comportamiento de la humedad relativa del aire regulada en el desarrollo del tomate en un invernadero piloto implementado, además del estudio del sistema de control con controladores programables del tipo micro PLC y que estos servirán de base como teoría para otras investigaciones.

Justificación social

La falta de interés como política en desarrollar invernaderos automatizados, preocupa a los pobladores del valle de Pampas, por lo que esta es una propuesta de sistemas automatizados para invernaderos como solución a un problema de falta de productos alternativos en las zonas agrícolas.

Si se automatizan los invernaderos a un bajo costo, será un gran paso para alcanzar la autosuficiencia alimenticia que necesita la población y elevar el nivel de calidad alimenticia y de vida de los campesinos.

Se considera que al aplicar el sistema en zonas agrícolas como prototipo experimental y conocer los resultados y si son favorables puede ser replicado en otras zonas agrícolas. Al tener el problema del clima para cultivos alternativos de otros productos en el valle de Pampas disminuye las actividades agrícolas y por lo tanto la producción y suministro de alimentos alternativos a la población, incrementando el costo de los alimentos que no produce el valle que bien puede servir como alternativa de alimentación de la población y del ganado vacuno.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Puesto que la agricultura es una de las actividades económicas importantes en el valle de Pampas de la provincia de Tayacaja, es necesario que instituciones locales de educación superior, como la UNH, apoyen a los agricultores con proyectos que contribuyan a mejorar la calidad y a aumentar la cantidad de las cosechas, tomando en cuenta que en el valle se dispone de poco agua para riego agrícola y el clima es adverso para la agricultura, calor durante el día y frío intenso por la noche por la altura de la zona.

Ante estas circunstancias, los invernaderos se presentan como una buena alternativa para aprovechar el uso del agua y proteger los cultivos de los cambios bruscos de temperatura y de condiciones adversas como el viento, la lluvia, las plagas, los animales y la contaminación. En ellos se crean condiciones artificiales de microclima que permiten el cultivo en cualquier temporada y se crean niveles óptimos de radiación solar, de temperatura, de humedad de aire y de suelo, produciendo así cultivos con mayor rendimiento que con la agricultura tradicional [5].

Estos antecedentes y otros similares demuestran claramente que, se puede implementar invernaderos automatizados en las comunidades. Una vez que la metodología es adoptada por algunos comuneros, el resto se adecua y se implementa. La aplicabilidad de esta alternativa planteada, puede alcanza a todas las regiones con riego productivo donde el recurso agua sea escaso y estén en disponibilidad económica para una inversión inicial, aunque también podría utilizarse para un ahorro de agua en proyectos mayores donde el ahorro económico tiene un gran impacto [4].

2.1.1. Antecedente internacional.

“Automatización de Microclima en un Invernadero”. Mauricio Hernández Hernández. México: Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Monterrey; 2007.

El principal interés se centró en el uso de la instrumentación virtual mediante el diseño de un programa gráfico, en el cual se realiza la adquisición de datos, el control y la presentación de información al usuario. De igual forma, se diseñaron y desarrollaron diversos sistemas mecánicos y electrónicos con aplicaciones particulares que se integran al funcionamiento general del sistema. El proyecto tiene como finalidad una automatización más completa de un invernadero y la implementación de algoritmos de control que utilicen más eficientemente los recursos. Se plantea la justificación del proyecto, presentar sus fundamentos teóricos a través de la presentación de una investigación bibliográfica, describir el trabajo de ingeniería realizado y mostrar los resultados del proyecto. Se exponen los beneficios del uso de los invernaderos; se plantea la tendencia actual en su uso y el desarrollo de tecnología a nivel mundial y nacional. En la presentación de este panorama, se incluyen algunos datos que hacen evidente la necesidad y el interés de realizar un sistema de control climático y que dan soporte a la realización de este trabajo. Se detallan las características de las variables de interés para el control del microclima en un invernadero, se describe su relación con los procesos de crecimiento del cultivo y se justifica su importancia. Se presenta el estado del arte de los instrumentos de medición, sistemas de control y sistemas de adquisición de las variables climáticas de interés en el invernadero. Adicionalmente, se incluye información relacionada a las técnicas y consideraciones prácticas sobre la manera de manejar las variables climáticas y el riego en el invernadero. Se explica el proyecto de automatización, la estructura y los objetivos generales del mismo, un control local en el invernadero y un control remoto que fue construido para el manejo del microclima bajo una interfaz de comunicación. Se exponen

los resultados que permiten establecer el proyecto como una plataforma inicial de desarrollo para la automatización de otras variables climáticas en el invernadero y se propone una alternativa para la conclusión de un sistema de control automático de clima y riego para invernaderos de bajo costo [6].

“Monitor remoto de temperatura y humedad”. Lluesma Juan Javier. España: Universidad Politécnica de Valencia; 2011.

La investigación realizó el diseño e implementación de un dispositivo que permite el monitoreo constante y de forma automática de dos variables, como son la humedad relativa y la temperatura ambiente (consideradas de mayor relevancia en el funcionamiento de un invernadero). Dichas variables son capturadas por medio de un sensor. Una vez obtenidos los valores, son clasificados mediante el firmware del microcontrolador, para ser transmitidos de forma inalámbrica a un ordenador (podría considerarse una estación de medición), donde serán recepcionados y visualizados. Hoy en día, en la mayoría de los invernaderos de algunas zonas, la toma de datos se realiza de forma manual. Si bien, éstos se guardan en un ordenador, no es un monitoreo constante que indique los cambios bruscos. Es decir, no posibilita un análisis más profundo en relación a la variación de las condiciones dentro de un invernadero. El monitoreo de forma automática, si nos posibilita cierto control y estudio más a fondo de éste. Las variables generalmente utilizadas en los invernaderos son las de temperatura, humedad ambiental y humedad del suelo, aunque esta última no será de nuestro interés. Instaurando nuevas herramientas, las variables son captadas mediante sensores especializados y los datos son enviados a un microcontrolador el cual los prepara para ser remitidos a través de una tarjeta de transmisión inalámbrica, y luego ser recibidos por una tarjeta receptora de datos conectada a un ordenador [15].

“Automatización de un invernadero con el PLC S7-200”. David Alejandro Carrillo Reveles. José Luis Vázquez Minjares. México Universidad Autónoma de Zacatecas; 2008.

El presente trabajo de tesis tiene como principio automatizar los sistemas de temperatura, humedad relativa, riego y humedad del suelo de un invernadero. Para éste se diseñó un prototipo a escala del invernadero que se encuentra en la Unidad Académica de Agronomía, para realizar pruebas para el mejoramiento de los sistemas y del sensado de las diferentes variables que los conforman. Uno de los principales objetivos de este trabajo fue el dar una solución práctica a los problemas que presentan los invernaderos semiautomatizados. Específicamente se centro en los problemas que agravan el invernadero de agronomía, como el excesivo consumo de energía eléctrica, el mal censado de las principales variables así como el desperdicio de agua. En esta tesis se utilizó el PLC S7-200, ya que con este se puede tener el control de todas las variables de manera simultánea, además de que tiene un fácil manejo. Con este PLC se puede controlar de manera precisa los sistemas ya que al utilizar sensores estos mandarán señales cuando se haya alterado alguna de las variables. Se utilizaron sensores adecuados para la medición de cada variable para el mejor desempeño del invernadero automatizado. Estos serán el medio por el cual el PLC tomará las decisiones para activar los sistemas de acuerdo a las necesidades requeridas. Para el control de temperatura y humedad relativa se utilizó la teoría del Razonamiento Aproximado, la cual es una parte introductoria del control difuso. Esto permite que estas dos variables interactúen en un solo control, ya que una está en función de otra [3].

“Interfaz de software entre un computador personal y un PLC mediante un driver de comunicación y su aplicación al control y monitoreo de un invernadero”. Edwin José Valencia Villacis. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional; 1999.

La industria actual tiende a automatizar todos sus procesos con el uso de autómatas programables (PLCs) que son la solución moderna al control de procesos industriales. Los PLCs permiten implementar sistemas de control de mayores prestaciones a las obtenidas con el control tradicional mediante relés y, además, pueden realizar tareas diversas de tratamiento de datos sustituyendo estos circuitos eléctricos tradicionales que ocupaban mucho espacio, de difícil modificación y con necesidad de mantenimiento, por un programa informático, flexible, seguro, confiable, prácticamente sin necesidad de mantenimiento y a un menor precio. Los PLCs, en la mayoría de los casos, están diseñados para ser empleados en ambientes industriales exigentes, ellos son, la elección para controlar tareas críticas o extremas por su rendimiento y simpleza, en los que un PC podría estar "sobrecargado". Si, además del control de tareas, se necesita un procesamiento de datos, control y monitoreo a distancia, trabajo en red, etc., un sistema basado en un PC podría ser tomado en consideración. La solución al problema expuesto sería la utilización de un computador personal que se comunique con el autómata programable mediante un driver de comunicación. El autómata programable puede encontrarse en el lugar que se realiza el proceso de automatización mientras que el computador puede colocarse en la oficina o sala de control, desde la cual se podría monitorear y controlar el proceso de automatización, ofreciendo una gran cantidad de ventajas este tipo de sistema PC-PLC. En el Ecuador la mayoría de las plantaciones de rosas realizan el riego en forma manual, es decir el agricultor se debe trasladar al lugar del cultivo para realizarlo. Los sistemas de automatización de riego son desarrollados por empresas extranjeras dedicadas a la automatización agro industrial haciendo de este un sistema costoso para los agricultores nacionales dedicados a esta tarea. La presente investigación desarrolla un sistema confiable para solucionar los requerimientos en la automatización de sistemas de riego en invernaderos [2].

“Control de temperatura con el PLC S7-200”. Julio C. Delgado López, Jacobo Montoya Becerra y Oscar A. Sandoval Rodríguez. Universidad Autónoma de Zacatecas. 2007.

En la actualidad la aplicación de sistemas de control ha dado como resultado la automatización de todo tipo de procesos. En estos procesos se puede controlar Velocidad, Posición, Temperatura, Flujo , Humedad, Etc. En este proyecto se presenta la descripción de la construcción de un control de temperatura para un centro de cómputo, donde se diseñaron diversos circuitos para su implementación. Este proyecto surge porque en los centros de cómputo la temperatura tiende a incrementarse debido al calor emitido por las computadoras, así como por el calor corporal de los usuarios, y este problema se presenta principalmente en las estaciones primavera-verano. El proyecto consiste en simular en una maqueta todos los dispositivos y fuentes que producen calor, para obtener un modelo matemático y a partir de ello controlar la temperatura por medio de un ventilador y un programa que es llevado a cabo por un Controlador Lógico Programable (PLC) S7-200 de SIEMENS, el cual es muy accesible y fácil de programar [16].

“Implementación de un PLC en un sistema de regulación PID para el control de procesos de nivel, presión, temperatura y velocidad”. Mesa Centeno, Pablo. Venezuela: Universidad Central de Venezuela; 2004.

En el mundo industrializado en que vivimos actualmente se nos exigen cada vez procesos más eficientes, más rápidos, más económicos y que proporcionen productos de mejor calidad, esto se ha conseguido con el desarrollo constante de nuevas tecnologías que cada vez son mejoradas o sustituidas por otras. De ahí la importancia que tiene la medición y control de los procesos mediante dispositivos y sistemas adecuados, lo cual ha convertido a la Automatización y Control Industrial en una fase necesaria e imprescindible en la proyección de una industria. Tanto así que algunas industrias ya constituidas solamente pueden mantenerse competitivas en el mercado con una modernización de sus sistemas de

control. Es por esto que consideramos fundamental el estudio, desarrollo y aplicación de estas tecnologías en los estudios de ingeniería actuales.

En este trabajo especial de grado se diseñaron cuatro procesos, uno de temperatura, uno de presión, uno de velocidad y uno de nivel, que permitirán que los estudiantes saquen mejor provecho a la materia Controles Automáticos. Los procesos mencionados anteriormente se diseñaron a partir de componentes existentes en la EIM en desuso. Se sustituyó el uso de un controlador industrial por un controlador lógico programable (PLC), este último mucho más moderno que el anterior, que permite además un diálogo hombre-máquina mucho más intuitivo y cómodo. Se seleccionó un PLC con la capacidad y funcionalidad adecuada para la implementación del trabajo. Consideramos importante que el alumnado tenga contacto con equipos de última generación, como este PLC, para que sepa cuáles son las tendencias modernas en la industria e incentivar en él la inquietud de conocer más sobre la materia.

Los procesos de control citados permitirán que el alumno se familiarice con los instrumentos y equipos que se mencionan en la teoría de las materias correspondientes, muchos de ellos los encontrará posteriormente en su desempeño profesional [13].

“Sistema de control automático para monitorear y controlar el ambiente al interior de un invernadero”. Juan Pablo Múnera-Campuzano. Venezuela: Universidad Pontificia Bolivariana; 2012.

El sistema para el monitoreo y control de las variables climáticas al interior de un invernadero, es un proyecto funcional que permite generar las condiciones climáticas necesarias para el correcto desarrollo del cultivo, controlando la temperatura, la iluminación, el riego automático, la humedad y la ventilación según parámetros definidos por el operario. Fue utilizado un PLC como controlador principal del sistema, al que se integran los diferentes dispositivos actuadores del sistema, y los sensores por medio de los cuales se estiman las variables a controlar. La Aplicación Scada fue diseñada mediante el lenguaje de programación gráfico

LabView 2011, esta permite monitorear y supervisar de forma remota el sistema de control ambiental. La comunicación entre el PLC y la aplicación se implemento bajo el estándar de comunicación serial RS232Copyright © 2012 UPB [17].

2.1.2 Antecedente nacional

“Diseño de un sistema de control de temperatura on/off para aplicaciones en invernadero utilizando energía solar y gas natural”.
Luis Alberto López Vargas. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2008.

Se presenta la problemática del proceso de control de variables ambientales bajo invernadero, los factores del cultivo en ausencia de un sistema de control de variables ambientales y el análisis de la problemática. Se presenta el estado de arte de la investigación, la metodología empleada en el control climático bajo invernadero y los conceptos generales del sistema de control, y el modelo teórico de la investigación y las definiciones operativas del sistema de control. Se plantea la hipótesis y se definen los objetivos. También se expone la metodología de la investigación y las consideraciones de base para el diseño. Finalmente se muestran los diagramas de bloques, diagramas de esquemáticos de los circuitos del sistema de control, así como también el diagrama de flujo y el esquema del sistema de control. Se muestran los resultados de las pruebas realizadas con los diferentes circuitos diseñados y simulaciones del programa de control. También se exponen los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas y el costo de diseño del sistema de control [5].

2.2 Bases Teóricas

En esta investigación, se utilizan diferentes marcos teóricos, los mismos están detallados a continuación:

2.2.1 Control de variables ambientales en el invernadero

La tecnología para la producción de alimentos en invernaderos ha avanzado considerablemente en los últimos 20 años. Dicha producción, es frecuentemente denominada Agricultura en Ambiente Controlado (CEA).

Hoy en día, el uso de la tecnología y/o equipos electrónicos en la agricultura es imprescindible dado que con el uso de éstos se logra alcanzar un máximo desempeño del terreno cultivado. La regulación del ambiente aéreo y radicular es de suma importancia en los sistemas agrícolas, ésta regulación del ambiente recae en los equipos electrónicos [1].

Los sistemas agrícolas automatizados están equipados para realizar un control de la temperatura del aire y de las raíces, de la intensidad luminosa, del agua y múltiples variables del ambiente, este control protege a los sistemas agrícolas de los climas adversos, creando un ambiente artificial o microclima, el cual ofrece las mejores condiciones de crecimiento y de desarrollo para las plantas.

2.2.1.1 El invernadero

El invernáculo o invernadero es un recinto construido en su mayoría a base de vidrio o plástico en el que se mantienen constantes la temperatura, la humedad y otros factores ambientales para favorecer el cultivo de plantas.

El invernadero aprovecha el efecto producido por la radiación solar que, al atravesar un vidrio u otro material traslucido, calienta los objetos que hay detrás de éstos. El cristal o vidrio utilizado en un invernadero trabaja como medio selectivo de la transmisión para diversas frecuencias espectrales, su efecto es atrapar energía en forma de calor dentro del invernadero, calentando el ambiente interior; se puede demostrar este efecto abriendo una ventana del invernadero: la temperatura disminuye considerablemente. Este principio es la base del sistema de enfriamiento automático (auto ventilación) expuesto en *The Physics of Atmospheres* por J. Houghton [6]. En ausencia de un recubrimiento, el calor absorbido se eliminaría por corrientes convectivas y por la emisión de radiación infrarroja. El objetivo del uso de los vidrios o cristales es impedir la transferencia de calor acumulado hacia el exterior por convección y obstruir la salida de una parte de la radiación

infrarroja. El efecto es el de acumulación de calor y aumento de la temperatura interna del recinto. Los vidrios tienen muy poca resistencia al paso del calor por transmisión, de modo que, contra lo que algunos creen, al tener dos temperaturas distintas a cada lado, hay notables pérdidas por transmisión (el vidrio tiene un factor de transmisión $K = 6.4 \text{ W/m}^2\text{K}$). Como resultado se obtiene que, a mayor temperatura, menor sea el efecto de retención del calor. Houghton indicó en *The Physics of Atmospheres* que al aumentar la temperatura aumentarán las pérdidas disminuyendo el rendimiento del sistema [15]. Un ejemplo de este efecto es el aumento de temperatura que toma el interior de los coches cuando están expuestos al sol.

2.2.1.2. Invernaderos en el mundo

La agricultura en el mundo ha sufrido una transformación, terrenos semiáridos con escaso aprovechamiento agrícola han pasado a ser fuente de una agricultura de vanguardia, capaz de obtener un alto nivel productivo tanto por su cantidad, como por su calidad. Este gran avance ha sido posible gracias a la aparición de los invernaderos, que actualmente son el método de cultivo que otorga grandes ventajas con respecto a la agricultura tradicional (reducción del tiempo de cultivo, protección contra climas adversos, entre otros). Este rápido desarrollo de los cultivos bajo invernadero se ha visto acompañado por un gran avance en materia fitosanitaria, mejora vegetal, técnicas de cultivo y comercialización. Sin embargo, este auge no se ha traducido en una mejora de la estructura y de la ambientación de los invernaderos debido fundamentalmente al largo período de tiempo necesario para renovar las estructuras y a la gran inversión necesaria para ello. La Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit de la Universidad de Costa Rica, acaba de construir en su finca un invernadero de 2,000 m² de extensión donde experimenta nuevas formas de cultivos, sino que ha iniciado la capacitación de grupos de agricultores para el empleo de esta tecnología, con miras a otras formas de comercialización

y exportación [3]. Según el Dr. Jean Hugues Chailley, especialista de la firma Richel de Francia, "aunque en Europa y EE.UU. el uso de invernaderos surge en el siglo XIX, en América Latina por sus grandes extensiones de tierra, la adopción de este tipo de producción ha sido más lenta". Sin embargo, en países como Chile y Argentina ya se han empezado a palpar los primeros frutos del uso de esta tecnología, pues mientras allí son capaces de cosechar entre 150 y 250 toneladas de tomate por hectárea bajo invernadero o plástico, la productividad por hectárea de este cultivo a campo abierto en países como Bolivia es de 25 toneladas [5]. Por otro lado España especialista en todo lo referente al desarrollo de la horticultura o floricultura intensiva, es el lugar del mundo donde se encuentra la mayor concentración de invernaderos; solamente en Almería hay 40,000 hectáreas. Cuando en el mundo se habla de este tipo de estructuras y su tecnología, dos países son la referencia. España (antes mencionado) y Holanda, que cuenta con una tecnología muy sofisticada y muy específica para esta área [5].

2.2.1.3. Invernaderos en el Perú

El sector agropecuario desempeña un importante papel dentro de la actividad económica del país, su participación sobre el PBI es del orden del 9% y según Conveagro ocupa el 30.5% de la PEA nacional y produce el 70% de los alimentos que consumimos. Su evolución a lo largo de la última década ha sido favorable en relación con el PBI global.

En el país existen 24 climas y 84 zonas de vida sobre un total de 104 que existen en el planeta. Estas características son importantes porque dan lugar a una diversidad biológica que interactúan y son una fuente natural de ventajas comparativas para el cultivo en invernadero en el Perú. Según el censo de 1993, la superficie agrícola bordea las 5'476,977 hectáreas que equivalen al 16% del total de la superficie del territorio del Perú. En el Perú, donde el

área agrícola es reducida, solamente el 6% de la superficie total del país tiene aptitud agrícola, su utilización adecuada supone el manejo integral de un conjunto de variables entre las cuales están la disponibilidad de recursos como: el agua, el clima, el suelo, entre otros. Así tenemos la región costera árida y con déficit de agua, la región de la sierra especialmente las zonas alto-andinas con drásticas variaciones climáticas. La Estación Experimental Agraria Santa Ana, es otro organismo descentralizado del Ministerio de Agricultura, que desarrolla acciones de investigación y transferencia de tecnología, considerando el requerimiento y demanda de los usuarios a fin de contribuir al desarrollo sostenible y competitivo de la agricultura. El cultivo bajo invernadero en el Perú, recién está tomando gran importancia. El motivo principal por el cual el cultivo bajo invernadero en el Perú no es muy utilizado es la falta de capital para la inversión en la construcción del invernadero. Las primeras investigaciones en el Perú se llevaron a cabo en el invernadero de investigación en La Molina (Facultad de Agronomía e Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Agraria La Molina). Tiene un área de 625 m² y es utilizado para investigaciones en las áreas de fitopatología, entomología, horticultura, fitotecnia y suelos. Fue construido en 1950 con aluminio y vidrio, con techo a dos aguas. Actualmente se encuentra en refacción debido al paso de los años [9]. Un ejemplo actual de implementación de invernadero en el Perú es la reciente inauguración de un invernadero como parte del proyecto de "Desarrollo de la Capacidad de Conservación y Promoción de los Recursos Genéticos", el pasado 21 de abril del 2006 se inauguró el nuevo invernadero y la sala de trabajo de la Sub Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología (SUDIRGEB) en la Estación Experimental Agraria (EEA) Donoso del Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria – INIEA en Huaral. Esta importante obra permitirá al INIEA contribuir con la

conservación y multiplicación de los cultivos nativos y naturalizados que se conservan en la EEA Donoso.

2.2.1.4. Invernaderos sin un sistema de control

Los invernaderos representan un cambio estructural en la forma de cultivar y comercializar productos agrícolas. Esta tecnología abre paso a la generación de verdaderas fábricas de alimentos, que será la forma predominante de agricultura en el futuro. El desarrollo de un sistema de control climático para invernaderos toma vital importancia debido a las consecuencias favorables que este método conlleva para con el cultivo, como la producción en todo el año, precocidad, calidad, control sobre el cultivo, menor consumo de agua, más cosechas por año, mayores rendimientos, producción en lugares marginales y cosecha oportuna. Estas estructuras cuentan con diseños especiales y entre las ventajas más importantes para el agricultor están las siguientes: permite proteger los cultivos de contingencias climatológicas, plagas y enfermedades, además de controlar temperatura, humedad, nutrición y tiempo de riego. El invernadero es el único sistema de protección que permite el cultivo totalmente fuera de temporada. Las plantas en invernadero necesitan más cuidado y atención en un periodo de tiempo menor al cultivo tradicional; pero los resultados en cuanto a producción son óptimos o las pérdidas son mínimas, en comparación con el tradicional. La calidad del producto final se ve elevada, dándole un valor agregado a la producción. El cuidado deberá ser minucioso ya que en las condiciones en las que se encuentra el invernadero; ya sea por las condiciones climáticas o por los desperdicios (hojas secas), es un medio de desarrollo de plagas y/o enfermedades de la planta aún mayor que en cultivos tradicionales.

Sin embargo, se sabe por los resultados que un invernadero que cuenta con un sistema de control climático proporciona mejores resultados que un invernadero que no cuenta con uno.

2.2.2. Tipos de invernaderos

- **Invernadero frío.**

El invernadero frío es el más económico de mantener, ya que consiste en una estructura que sólo recibe el calor del sol. Si es zona de inviernos fríos, la temperatura interior del invernadero será de aproximadamente 5°C por encima de la temperatura exterior. Este tipo de invernaderos se usa para sembrar o almacenar plantas de semillero a finales de invierno o primavera (3 ó 4 semanas por delante de la época de plantación en el exterior). También se puede utilizar en verano y hasta principios de otoño para cultivar determinadas plantas. En una zona de inviernos fríos también se puede emplear para guardar las plantas de exterior semi-resistentes.

- **Invernadero fresco.**

Este tipo de invernadero puede mantener una temperatura mínima de 5°C-7°C. Estos invernaderos se calentarían con calor adicional solo durante la noche durante los meses de invierno en zonas de clima frío.

Puede usarse para:

- Proteger a las plantas sensibles a las heladas.
- Para cultivar plantas tres o cuatro semanas antes que en el invernadero frío.
- Para cultivos de estación templada durante el verano.
- Para cultivos de clima fresco durante el otoño e invierno.

- **Invernadero templado**

Este tipo de invernadero puede mantener una temperatura mínima de 13°C con calor adicional durante el día y la noche, dependiendo de su emplazamiento, los costes de calefacción subirán a medida

que bajen las temperaturas. Ofrece unas buenas condiciones para el cultivo de hortalizas y de muchas plantas anuales.

- **Invernadero cálido**

Este tipo de invernadero resulta ser el más caro en cuanto a su mantenimiento, ya que mantiene una temperatura mínima de 18°C con la ayuda de calor adicional. Aunque puede resultar demasiado sofocante para muchas hortalizas, puede destinarse al cultivo de plantas tropicales y subtropicales. Para el aporte correcto de agua y nutrientes (solución nutritiva) los controladores procesan las señales proporcionadas por sensores de conductividad eléctrica, pH, volumen drenado y en algunos casos también radiación; y gestionan el aporte de solución a las plantas, y la composición de la misma, mediante electro válvulas. Son dispositivos muy contrastados, no específicos de cultivos forzados bajo plástico, y de uso general en agricultura [8].

2.2.3. Control de clima en invernaderos

Los controles electrónicos tienen cada vez más importancia en la gestión del clima de los invernaderos. Todos los equipos de control climático requieren sistemas informáticos para su gestión, debido al gran número de variables e interacciones que se han de tener en cuenta para su manejo. Actualmente estos equipos disponen de sensores capaces de medir las diferentes variables climáticas, principalmente temperatura, humedad relativa o absoluta, radiación solar incidente, concentración de CO₂, velocidad y dirección del viento, etc. Todos esos datos se registran y representan gráficamente en un ordenador, que además es el encargado de verificar las consignas de control introducidas por el usuario y de enviar las señales pertinentes para que se pongan en funcionamiento o se detengan los distintos equipos de control climático [2].

2.2.3.1. Sistema de control

El invernadero típico de Almería basa parte de su éxito en su sencillez y bajo coste, pero no es lo bastante eficiente en cuanto a

su ventilación. Esto provoca una elevada humedad interior, que provoca condensaciones y goteos procedentes de la parte interior de la cubierta, favoreciendo el ataque de enfermedades criptogámicas, y con ello, el aumento del uso de productos fitosanitarios. La reducción del uso de productos fitosanitarios resulta imprescindible tanto desde el punto de vista medio ambiental como desde la mejora de la competitividad de nuestros productos. Además, la falta de ventilación se traduce en un agotamiento de hasta un 80% del CO₂ en la atmósfera del invernadero, llegando a provocar reducciones del crecimiento y del rendimiento. Para mejorar la ventilación pasiva en el área mediterránea, se han sugerido superficies de ventana entre 18%-25% respecto de la superficie cultivada. P. Feuilloley, concluye en su estudio sobre la aireación estática de un invernadero, que la altura del cultivo tiene un gran efecto en la tasa de ventilación natural y que el mejor sistema de ventilación debería disponer de apertura lateral del 17% y cenital del 15%, con una superficie de apertura total óptima del 32% de la superficie cultivada. El efecto chimenea que se establece entre la ventilación lateral y cenital es especialmente significativo cuando la velocidad del viento es inferior a 1m/s. Ph. Verheye y H. Verlodt obtuvieron los mejores resultados al comparar diferentes sistemas de ventilación estática, cuando la superficie de apertura era aproximadamente el 30% de la superficie cultivada. El diseño de la ventilación puede realizarse por medio de modelos a escala. Una manera de estudiar la ventilación es generar el flujo en un túnel hidrodinámico con modelos a escala (1:10; 1:50), grabar y digitalizar la imagen, establecer la distribución de temperaturas de la imagen digitalizada y obtener la tasa de ventilación. Para el control ambiental de los invernaderos es necesario modelar su comportamiento, teniendo en cuenta la diversidad de tipos de estructuras y de sistemas de calefacción o

refrigeración. Igualmente hay que tener en cuenta los diferentes factores que intervienen: la penetración de la luz, las transferencias de masa y energía y el crecimiento de las plantas. La ventaja esencial de los modelos es que pueden dar acceso a un juego de consignas de clima, capaces de anticipar el impacto que ejerce una acción sobre los medios de climatización en el proceso estudiado. La modelación de la tasa de ventilación del invernadero es una herramienta esencial del control del clima ya que toda acción sobre el nivel de apertura de la ventana modifica a la vez varias variables de salida (temperatura, humedad relativa y concentración en CO₂ del aire) [9].

Se observan avances, en cuanto a la utilización de algoritmos para la optimización en el manejo del control de la calefacción en invernaderos comerciales. El algoritmo es almacenado en un ordenador, que se comunica con los controladores situados en el invernadero; el cual recibe las predicciones meteorológicas a través de una conexión vía módem. La utilización de programas informáticos de dinámica de fluidos computacional (CFD) basados en el cálculo numérico, sirven para obtener la distribución de la temperatura y del flujo de aire (vectores de velocidad) dentro del invernadero en función de las condiciones climáticas externas. La modelación del flujo de aire consiste en determinar las variables representativas del flujo (presión, densidad, velocidad, temperatura) en todos los puntos en los que se divide el invernadero. De la variación de esas magnitudes características en el espacio y en el tiempo, se pueden deducir los intercambios de calor y de masa. Estos programas resuelven numéricamente las ecuaciones de Navier-Stokes y la ecuación de conservación de la energía. La aplicación del método de CFD para el análisis de la ventilación en invernaderos ofrece una importante información sobre la influencia del viento y de la temperatura exterior en la ventilación.

Actualmente permite el estudio sistemático de la influencia del diseño del invernadero, principalmente del tipo y situación de las ventanas, en el flujo de aire interior. Hasta la fecha, la aplicación de esta técnica se limita a la investigación y al estudio de la respuesta del invernadero a situaciones particulares y estables en el tiempo.

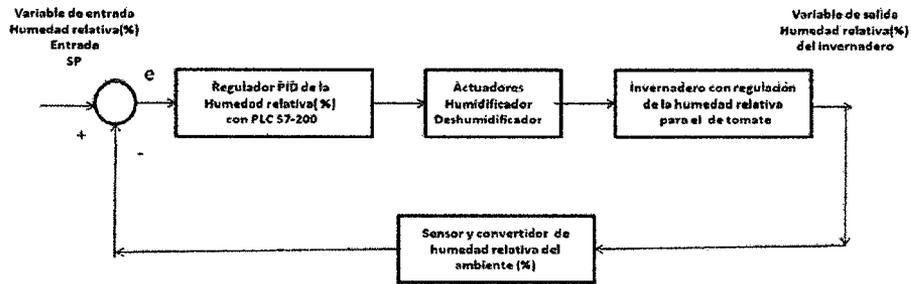


Figura 2.1 Sistema de control de humedad.

2.2.4. Parámetros en los sistemas de control de clima

Para el desarrollo de los cultivos, en sus diferentes fases de crecimiento, se debe tener en consideración cuatro factores ambientales o climáticos: temperatura, humedad relativa, luz y CO₂. Para que las plantas realicen sus funciones es necesaria la integración de los factores y se debe tener en cuenta que estos deben de estar dentro de unos límites mínimos y máximos, fuera de los cuales las plantas no se desarrollan normalmente afectando su metabolismo, pudiendo llegar a la muerte.

2.2.4.1. Temperatura

Las plantas necesitan una temperatura adecuada para su crecimiento, de lo contrario éste se detiene. Si ésta desciende a cero grados o menos, los cultivos se pueden dañar seriamente, esto ocurre con los que se encuentran al aire libre, ya sea por efecto de las heladas. En este sentido, se debe de aprovechar el efecto favorable del invernadero de mantener la temperatura tanto del aire como del suelo, y favorecer el desarrollo de las raíces y de la parte superior de las plantas. La temperatura es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye

en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Normalmente la temperatura óptima para las plantas se encuentra entre los 10 y 20° C. Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. Asimismo se deben aclarar los siguientes conceptos de temperaturas, que indican los valores objetivos a tener en cuenta para el buen funcionamiento del cultivo y sus limitaciones [6]:

• **Temperatura mínima letal**

Aquella por debajo de la cual se producen daños en la planta.

• **Temperaturas máximas y mínimas biológicas**

Indican valores, por encima o por debajo respectivamente del cual, no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc.

• **Temperaturas nocturnas y diurnas.**

Indican los valores aconsejados para un correcto desarrollo de la planta.

Tabla 2.1 Temperatura para distintas especies (°C).

Temperatura	Tomate	Pimiento
Temperatura mínima letal	0 - 2	(-1)
Temperatura mínima biológica	10 - 12	10 - 12
Temperatura óptima	13 - 16	16 - 18
Temperatura máxima biológica	21 - 27	23 - 27
Temperatura máxima letal	33 - 38	33 - 35

La temperatura en el interior del invernadero, va a estar en función de la radiación solar, comprendida en una banda entre 200 y 4,000 nm, la misión principal del invernadero será la de acumular calor durante las épocas invernales. El calentamiento del invernadero se produce cuando el infrarrojo largo, procedente de la radiación que pasa a través del material de cubierta, se transforma en calor, ésta radiación es absorbida por las plantas, los materiales de la estructura y el suelo. Como consecuencia de esta absorción, éstos emiten radiación de longitud más larga que

al traspasar por el obstáculo que representa la cubierta, se emite radiación hacia el exterior y hacia el interior, calentando el invernadero. El calor se transmite en el interior del invernadero por irradiación, conducción, infiltración y por convección, tanto calentando como enfriando. La conducción es producida por el movimiento de calor a través de los materiales de cubierta del invernadero. La convección tiene lugar por el movimiento del calor por las plantas, el suelo y la estructura del invernadero. La infiltración se debe al intercambio de calor del interior del invernadero y el aire frío del exterior a través de las juntas de la estructura. La radiación, por el movimiento del calor a través del espacio transparente [17].

2.2.4.2. Humedad

El aire húmedo es una mezcla de vapor de agua y de aire seco. Para caracterizar el contenido de vapor de agua en el aire se utilizan las siguientes índices:

- **Humedad relativa** (h.r.) = presión de vapor actual / presión de saturación.

Se expresa en %. La h.r. se define como el cociente de la presión de vapor actual y la que habría si el espacio estuviese ocupado por vapor en condiciones de saturación. El concepto de h.r. es el más utilizado en relación con la humedad del aire, porque es fácil de medir pero no tiene significado si no se expresa al mismo tiempo la temperatura ambiental. Es una manera de expresar y cuantificar la cantidad de vapor de agua contenida en un determinado volumen de aire; por definición, se expresa en porcentaje (%) como la relación que hay entre la masa de agua contenida en el aire y la masa de agua que se requiere para producir la saturación del mismo aire, ver figura 2.2. Cuando el aire está saturado, su contenido de agua es el

72

máximo y se dice que su humedad relativa es también la máxima o del 100 %.

- **Humedad absoluta** = masa de vapor de agua/volumen (kg/m³).

Tabla 2.2 Niveles climáticos de especies cultivadas en invernadero.
Fuente tesis, 1972.

Especie	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	HR
	Óptima noche	óptima día	Máxima biológica	Óptima radicular	Óptima (%)
tomate	13 a 16	22 a 26	26 a 30	15 a 20	60-70
Pepino	18 a 20	24 a 28	28 a 32	20 a 21	70 - 90
lechuga	0 a 15	15 a 20	25 a 30	10 a 12	60 a 80

La humedad absoluta es el peso del vapor de agua en un volumen dado de aire y se expresa en kg de vapor de agua por metro cúbico de aire seco. La humedad absoluta y relativa depende de la temperatura. A 15° C un metro cúbico de aire puede contener 13 gr de agua y a 35° C, 39 gr de agua.

- **Contenido en agua** = masa de vapor de agua/masa de aire seco (g/kg).

El contenido de agua es independiente de la temperatura. Las plantas reaccionan fisiológicamente a: déficit de presión de vapor d.p.v.= presión de saturación - presión de vapor actual

- **Diferencia de contenido de agua = contenido de agua en saturación - contenido de agua actual.**

Para una temperatura dada, el déficit de saturación de vapor de agua D.S.V. varía con la humedad del aire. Si la temperatura es de 20°C y la h.r. es del 60 % el poder de evaporación es doble que cuando las condiciones son de 20°C y 80 % de h.r. (d.p.v.= 7,02 y 3,51 mm de mercurio). Si la h.r. es del 60 %, el d.p.v. es 7,02 mm de mercurio si la temperatura

21

es de 20°C y 12,74 mm de mercurio si es de 30°C. Por consiguiente la tasa de evaporación es el doble para la temperatura de 30° que la de 20°C, si la h.r. es en ambos casos del 60 %. Si la temperatura del aire es de 20° C y su h.r. 60 %, su d.p.v. es de 7,02 mm de mercurio. Si la temperatura del aire aumenta hasta 30° C. sin variar el contenido absoluto de vapor de agua, el d.p.v. aumenta desde 7,02 hasta 21,32 mm. de mercurio y por tanto la tasa de transpiración se triplica. La temperatura del punto de rocío es el valor que marca la formación de condensación. La diferencia entre la temperatura de rocío y la temperatura actual del aire se denomina diferencia de punto de rocío. A mayor diferencia de punto de rocío, menor es el peligro de condensación de agua en el cultivo. Al discutir la humedad relativa en el invernadero es necesario considerar cómo este factor varía de una manera natural en respuesta a las otras condiciones ambientales. Si la masa de aire del invernadero se mantiene a una temperatura superior a la de la temperatura del material de cubierta, la humedad relativa es inferior a la de saturación. Esto puede ilustrarse sobre una carta psicrométrica, (figura 2.2). En la figura, el aire a 21,1°C y al 90 % de humedad relativa (punto a) es refrigerado hasta la temperatura de 10°C. Si el aire húmedo del invernadero está en contacto con una superficie fría de temperatura inferior al punto de rocío del aire, se produce la condensación: La condensación tiene lugar en las superficies más frías. Por ejemplo la condensación se produce en los plásticos de cubierta incluso durante el día, en invernaderos cerrados, si la temperatura exterior es inferior a la interior. Como resultado se produce el proceso de deshumidificación del aire. Si hay suficiente ventilación apenas hay diferencia entre la humedad relativa del aire de los

invernaderos de vidrio. La diferencia es que la condensación se produce en forma de gotas en los materiales plásticos mientras forma una película continua sobre el vidrio. La mayor desventaja en el uso de materiales plásticos para cubrir invernaderos es el alto nivel de concentración de condensado en forma de gotas con la posterior caída sobre el cultivo.

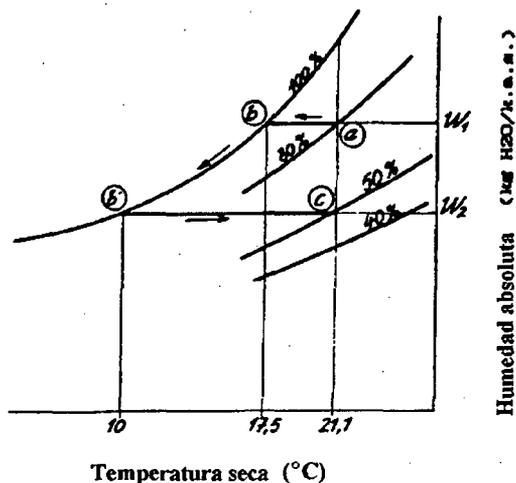


Figura 2.2 Psicrométrica esquemática de un proceso de deshumidificación y refrigeración con posterior recalentamiento.

Humedad relativa del suelo

La humedad es la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire. La humedad relativa (HR) es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura. Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR, a temperaturas bajas la HR aumenta. Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones: la HR del tomate, pimiento y de la berenjena está sobre el 50%-60%; el melón, entre el 60-70%; el calabacín, entre el 65-80% y el pepino entre el 70-90%. La HR del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final

de los cultivos. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y un mayor desarrollo de enfermedades criptogámicas. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse. Para que la HR se encuentre lo más cerca posible del óptimo, el agricultor debe ayudarse del higrómetro (instrumento de medición de la HR del aire). El exceso puede reducirse mediante ventilado, aumento de la temperatura y evitando el exceso de humedad en el suelo. La falta puede corregirse con riegos, llenando canalillas o bassetas de agua, pulverizando agua en el ambiente, ventilado y sombreado. La ventilación cenital en invernaderos con anchura superior a 40 metros es muy recomendable, tanto para el control de la temperatura como de la HR [3]. En el mercado existen equipos que se encargan de solucionar los problemas de la HR, usando el pulverizador de partículas de agua de alta presión con niebla de gotitas de 10 micrones que se evaporan rápidamente en el aire para refrescar y para humedecer el ambiente (El proceso de llenar poros de una membrana hidrofóbica de agua), se mejoran los procesos de la propagación y de la germinación mientras que el sistema mantiene una humedad alta (sobre el 90%) para la producción eficaz. Los sistemas convencionales tales como cojín y ventilador no proporcionan el frescor requerido o los resultados son desiguales. Los ventiladores grandes requieren e incurrir en costes energéticos enormes [2]. La computadora o los sistemas de control análogos controlan con exactitud la humedad y la temperatura a los niveles exigentes de tal modo que reducen costes energéticos. Además, estos sistemas de control pueden integrar el resto de funciones y de los sistemas del invernadero tales como calderas y válvulas de la irrigación. Los sensores permiten mediante lecturas de humedad,

o combinadas con otras de temperatura, obtener índices tan importantes como la humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, déficit hídrico y déficit de presión de vapor.

2.2.5 Controladores lógicos programables PLC

Son computadores digitales industriales utilizados en el control de procesos, mejoran el sistema de control convencional, es programable dicha lógica en la memoria. Esta cualidad permite que el equipo pueda ser utilizado en una gran diversidad de procesos, ofreciendo a la industria flexibilidad y adaptabilidad a los cambios [10].

2.2.5.1 Componentes básicos de los PLC

- **Entradas:** Son borneras donde se deben colocar los cables con las señales que provienen de los transductores, están conformadas por circuitos electrónicos que acoplan esas señales a las especificaciones de señales que el PLC puede manipular, se clasifican en:
 - **Entradas digitales:** Reciben señales cuantizadas de los sensores de campo, varían sólo entre dos estados. Las señales provienen de transductores como: interruptores, botoneras, sensores de fin de carrera, etc.
 - **Entradas analógicas:** Reciben señales analógicas de los transductores de campo, provienen de sensores que miden el valor instantáneo de una variable física. La señal analógica se transforma en una señal digital con una resolución con que se realiza en el interior del PLC. La resolución es la cantidad valores cuantizados disponibles para representar una señal analógica. Si se tiene sólo dos valores cuantizados para representar una señal que varía de 0 a 5 V, se dice que se tiene una resolución de dos. La resolución depende de las características de la entrada. La cantidad de valores cuantizados es igual a 2^n , con n el número de bits del registro donde se almacena la variable

digital que resulta de la transformación. En los controladores se asocia un registro de 16 bits a cada una de las entradas analógicas, con lo que se tiene una resolución de 2^{16} .

- **Salidas:** Interna son circuitos electrónicos que realizan el acople entre las señales digitales utilizadas por el PLC y las señales analógicas o cuantizadas que utilizan los actuadores. Externa es una bornera donde se realizan las conexiones entre el PLC y los actuadores. Las salidas digitales se aplican a actuadores como bobinas de contactores, electroválvulas, etc. Pueden ser de voltaje y de relé. Las salidas de voltaje asignan una magnitud de voltaje, que depende del fabricante, al estado 1 lógico y de 0 V al estado 0 lógico. Las salidas de relé consisten en un contacto seco que se cierra en el estado 1 y se abre en el estado 0. Las salidas analógicas, los valores de salida están entre 0 Vdc a 10 Vdc para las salidas de voltaje y de 4 mA a 10 mA para las de corriente, aunque estos valores varían según el fabricante. Estas señales comandan actuadores como válvulas solenoides, servomotores.
- **Unidad central de proceso:** Una vez digitalizadas, las señales de entrada son pasadas al CPU, el cual les aplica el algoritmo de control para generar las salidas. El algoritmo de control está almacenado en la memoria interna del PLC en forma de un programa, el cual es creado y almacenado por el usuario. Además de ejecutar el programa, el CPU realiza acciones como verificación del sistema, actualización de las imágenes de entrada y salida y la medición del tiempo de ejecución del programa.
- **Memoria del PLC:** Lugar físico donde residen el sistema operativo, el programa, los datos de ejecución y las imágenes de entrada y salida. El sistema operativo es un programa que utiliza el PLC para iniciar su operación y realizar las configuraciones propias de su funcionamiento. La memoria se clasifica en:

- **EEPROM:** Memoria de sólo lectura que puede ser escrita por medios electrónicos. No necesita de una fuente de poder para mantener sus datos. Por su característica no volátil, se utiliza para guardar datos esenciales, tal como el sistema operativo y el programa.
- **RAM:** Memoria reescribible de acceso aleatorio que se utiliza para guardar los datos generados mientras se ejecuta el programa. Es volátil, por lo que los datos almacenados se pierden si se le suspende la alimentación.

2.2.5.2 Tipos de PLC

Compactos: Todos los componentes se encuentran integrados en un solo gabinete. El usuario no tiene acceso a ellos, por lo que no los puede modificar. Se pueden encontrar con diferentes capacidades en aspectos como: número de entradas, capacidad de memoria, número de salidas, opciones de comunicación, etc.

Modulares: Consisten en un bastidor donde se introducen los diferentes componentes o módulos. Los módulos son intercambiables de un bastidor a otro por lo que las capacidades de un PLC pueden ser ampliadas fácilmente. Son más costosos que los tipo compacto, pero son mucho más versátiles y útiles en aplicaciones que exigen adaptabilidad a cambios.

2.2.5.3 Programación de un PLC

Para que el PLC pueda relacionar lógicamente las entradas con las salidas, necesita seguir un programa en su memoria. El programa tiene descrito, en forma de instrucciones, el algoritmo de control deseado. El programa consiste en un archivo o archivos que son generados por la aplicación de programación. Una vez generado el archivo de programa, éste se debe descargar a la memoria del PLC. Las aplicaciones de programación brindan una serie de herramientas al usuario para que pueda completar la creación de un programa. Entre las herramientas que se suelen ofrecer están: configuración de

los componentes del PLC que se utilizará, opciones de comunicación, diferentes editores de programa, un compilador y plataformas de simulación y de monitoreo. La plataforma de simulación sirve para corroborar el funcionamiento del programa, facilitando la puesta en marcha en el campo. La plataforma de monitoreo ayuda al operario a verificar el correcto funcionamiento del sistema desde un equipo remoto como un PC. Las instrucciones que contiene el programa son ejecutadas secuencialmente de forma repetitiva por el CPU. La mayoría de los fabricantes ofrecen tres editores de programa: lista de instrucciones, escalera y diagrama de flujo.

Lista de instrucciones (AWL): Es una programación por texto, en la cual se le indica al CPU la operación a realizar mediante un comando. El editor AWL (Lista de instrucciones) crea programas de control introduciendo la nemotécnica de las operaciones. Se adecua para los programadores expertos familiarizados con los sistemas de automatización y con la programación lógica.

Escalera (KOP): Es un lenguaje gráfico como diagramas en escalera que usan en el control convencional. Su lógica incluye contactos normalmente abiertos, cerrados, salidas hacia bobinas, crea programas con componentes similares a los elementos de un esquema de circuitos. Es el lenguaje de numerosos programadores y encargados del mantenimiento de sistemas de automatización. Los programas KOP hacen que la CPU emule la circulación de corriente eléctrica desde una fuente de alimentación, a través de una serie de condiciones lógicas de entrada que, a su vez, habilitan condiciones lógicas de salida.

2.2.6 El controlador lógico programable Simatic S7-200

2.2.6.1 Características técnicas

Son Micro-PLCs, con diseño compacto, capacidad de ampliación, bajo costo y amplio juego de operaciones; son apropiados para

solucionar tareas de automatización, con diversos tamaños y fuentes de alimentación de las CPUs ofrecen flexibilidad para solucionar las tareas de automatización. El S7-200 vigila las entradas y cambia el estado de las salidas conforme al programa de usuario. Incluye operaciones de lógica booleana, operaciones con contadores y temporizadores, operaciones aritméticas complejas, así como comunicación con otros aparatos inteligentes. La CPU S7-200 contiene un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, como se indica en la figura 2.1, tras haber cargado el programa en el S7-200, éste contendrá la lógica necesaria para observar y controlar los aparatos de entrada y salida de la aplicación. Siemens ofrece diferentes modelos de CPUs S7-200 que incorpora una gran variedad de funciones y prestaciones para crear soluciones efectivas de automatización destinadas a numerosas aplicaciones. En la tabla 2.1 se encuentra algunas de las funciones de la CPU. Un micro PLC S7-200 puede comprender una CPU S7-200 sola o conectada a diversos módulos de ampliación adicionales.

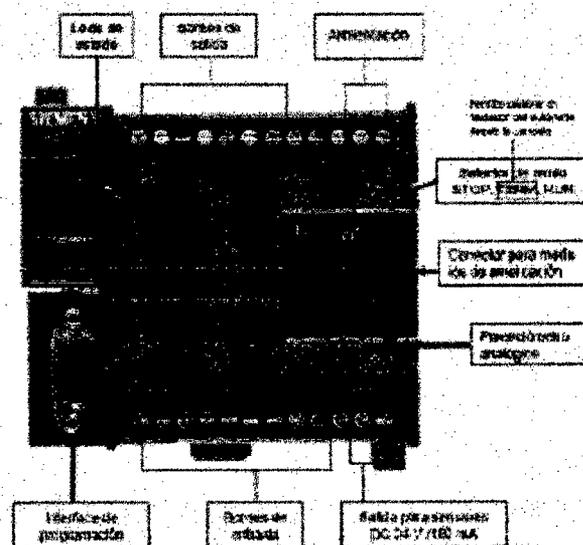


Figura 2.3 Micro-PLC S7-200.

Tabla 2.3 Características de la CPU S7-200.

FUNCIÓN Dimensiones típicas	CPU 224 120.5x80x62
Memoria de datos	2560 palabras
Memoria de programa	4096 palabras
Memoria de backup	190 horas (tip)
E/S integradas	14 E/ 10 S
Módulos de ampliación	7
Contadores rápidos	
Fase simple	6 a 30 Khz
2 fases	4 a 20 Khz
Salidas de impulsos	2 a 20 Khz
Potenciómetros analógicos	2
Reloj de tiempo real	Incorporado
Puertos de comunicación	1 RS-485
Aritmética de coma flotante	Si
Tamaño de la imagen de E/S digitales	256 (128 E/ 128S)
Velocidad de ejecución booleana	0.37 microseg /instrucción

2.2.6.2 CPU S7-200

La CPU S7-200 es un equipo autónomo compacto que incorpora una unidad central de procesamientos (CPU), una fuente de alimentación, así como entradas y salidas digitales.

- La CPU ejecuta el programa y almacena los datos para la tarea de automatización o el proceso.
- Utilizando módulos de expansión se puede agregar entradas y salidas (E/S) adicionales a la CPU hasta el tamaño físico máximo indicado por el fabricante.
- La fuente de alimentación suministra corriente a la unidad central y a los módulos de ampliación conectados.

- El sistema se controla mediante entradas y salidas. Las entradas vigilan las señales de los dispositivos de campo (por ejemplo: sensores e interruptores), mientras que las salidas supervisan las bombas, motores u otros aparatos del proceso.
- El puerto de comunicación permite conectar la CPU a una unidad de programación o a otros dispositivos que intervengan en el proceso.
- Los diodos luminosos indican el modo de operación de la CPU (Run o Stop), el estado de las entradas y salidas integradas; así como los posibles fallos del sistema que se haya detectado.
- Algunas CPUs tener un reloj de tiempo real incorporado, en tanto que otras necesitan un cartucho de reloj de tiempo real.
- Un cartucho enchufable EEPROM en serie permite almacenar programas de la CPU y transferir programas de una CPU a otra.
- Un cartucho enchufable de pila permite prolongar el respaldo de los datos en la RAM.

2.2.6.3 Módulos de ampliación S7-200

La gama S7-200 incluye módulos de ampliación para las aplicaciones. Estos módulos se pueden utilizar para agregar funciones a la CPU S7-200, en la tabla se indica una lista de los módulos de ampliación disponibles en la actualidad.

Tabla 2.4 Módulos de ampliación S7-200.

MÓDULOS DE AMPLIACIÓN	TIPOS		
Módulos digitales			
Entradas	8 entradas DC	8 entradas AC	
Salidas	8 salidas DC	8 salidas AC	8 salidas a relé
Combinación	4 E/S DC	8 E/S DC	
	4 E DC / 4 S relé	16 E/S DC	
		8 E DC / 8 S relé	
		16 E DC / 16 S relé	
Módulos analógicos			
Entradas	4 entradas analógicas	4 entrada termopar	2 entrada RTD

Salidas	2 salidas analógicas		
Combinación	4 entradas analógica/1 salida analógica		
Módulos inteligentes	Posición	modem	POF1BUS-DP
Otros módulos	AS – interface		

2.2.6.4 Conexión del S7-200

Se conecta la alimentación del S7-200 y se utiliza el cable de comunicación para unir la unidad de programación. La figura 2.2 muestra el cableado de una CPU S7-200 con alimentación DC o AC. Se debe respetar siempre las medidas de seguridad necesarias y verificar que la alimentación eléctrica del S7-200 se haya desconectado antes del montaje.

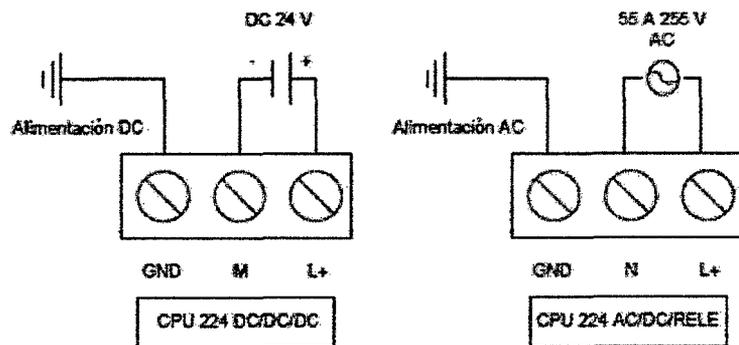


Figura 2.4 Conexión de la alimentación del S7-200.

2.2.6.5 Alimentación

Tienen integrada una fuente de alimentación capaz de abastecer la CPU, los módulos de ampliación y otras cargas que precisen de 24 VDC. La CPU S7-200 suministra la corriente continua de 5 V necesaria para los módulos de ampliación del sistema, aportan también una alimentación para sensores de 24 VDC que pueden suministrar corriente DC de 24 V a las entradas y a las bobinas de relés de los módulos de ampliación, así como a otros equipos. Si se

precisa una fuente de alimentación DC externa de 24 V, se debe vigilar que ésta no se conecte en paralelo con la alimentación para sensores de la CPU S7- 200. Para aumentar la protección contra interferencias, se recomienda conectar los cables neutros (M) de las distintas fuentes de alimentación. Si se conecta una fuente de alimentación externa de DC 24 V con la fuente de alimentación para sensores de DC 24 V en paralelo con la fuente de alimentación para sensores de DC 24 V del S7-200, podría surgir un conflicto entre ambas fuentes, ya que cada una intenta establecer su propio nivel de tensión de salida. Este conflicto puede tener como consecuencia una reducción de la vida útil o la avería inmediata de una o ambas fuentes de alimentación y, en consecuencia, el funcionamiento imprevisible del sistema de automatización, lo que podría ocasionar lesiones graves al personal, y/o daños al equipo.

2.2.6.6 Cableado del S7-200

Se debe incorporar un interruptor unipolar para cortar simultáneamente la alimentación de la CPU S7- 200, de todos los circuitos de entrada y de todos los circuitos de salida, dispositivos de protección contra sobreintensidad (fusibles o cortacircuitos) para limitar las corrientes excesivas en el cableado de alimentación. Instalar un fusible u otro limitador de sobreintensidad en todos los circuitos de salida. Instalar dispositivos de supresión de sobretensiones apropiados en el cableado susceptible de recibir sobretensiones causadas por rayos. Se debe evitar colocar los conductores de señalización y los cables de comunicación en una misma canalización junto con los cables de corriente AC y los cables DC de alta tensión y de comunicación rápida. El cableado deberá efectuarse por pares; con el cable de neutro o común combinado con el cable de fase o de señal. Se debe utilizar el cable más corto posible y vigilar que tenga una sección suficiente para conducir la corriente necesaria. El conector acepta cables con sección de 2 mm²

o $0,30 \text{ mm}^2$ (14 AWG a 22 AWG). Se debe utilizar cables apantallados para obtener el mayor nivel de inmunidad a interferencias. Por lo general, se obtiene los mejores resultados si la pantalla se pone a tierra en el S7-200. En una red de comunicación, la longitud máxima del cable de comunicación debería ser de 50 metros sin utilizar un repetidor.

2.2.6.7 Software

El software utilizado para la elaboración de programas y programación del PLC es el STEP 7-Micro/WIN 32 el cual es un programa versátil, con el menú ayuda recibe informaciones sobre de operaciones del STEP 7-Micro/WIN.

2.2.6.8 Velocidad de transmisión

- El cable PC/PPI conecta el PC con el PLC S7-200.
- En el PC, utilizar la interface serie por ejemplo COM2.
- El S7-200 emite y recibe datos a una velocidad de 9600 bits/s. Hacer el ajuste de la velocidad de transmisión en el cable PC/PPI de acuerdo a la figura 2.7. A continuación, conectar el cable PC/PPI en el PC y el PLC
- Para alimentar el PC y el PLC utilizar la misma fase, para evitar así diferencias de potencial. Conectar el PLC (luce el LED STOP o RUN).

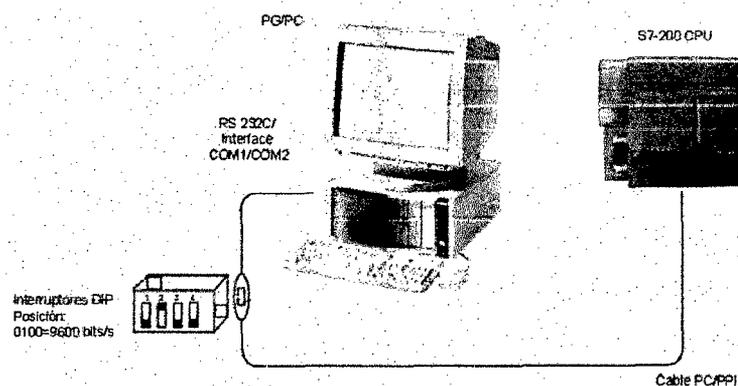


Figura 2.5 Ajuste de la velocidad de transmisión.

2.2.6.9 Establecer la comunicación con la CPU S7-200

Siga los siguientes pasos:

- En la pantalla de STEP 7-Micro/WIN 32 haga clic en el icono "Comunicación" o elija el comando de menú **Ver > Comunicación**. Aparecerá el cuadro de diálogo "Configurar comunicación" donde se indica que no hay ninguna CPU conectada.
- En el cuadro de diálogo "Configurar comunicación", haga doble clic en el icono "Actualizar". STEP 7-Micro/WIN 32 comprueba si hay CPU's S7-200 (estaciones) conectadas. Por cada estación conectada aparecerá un icono de CPU en el cuadro de diálogo "Configurar Comunicación" (figura 2.8).
- Haga doble clic en la estación con la que desea establecer la comunicación. Como podrá apreciar, los parámetros de comunicación visualizados en el cuadro de diálogo corresponden a la estación seleccionada.

Así queda establecido el enlace con la CPU S7-200.

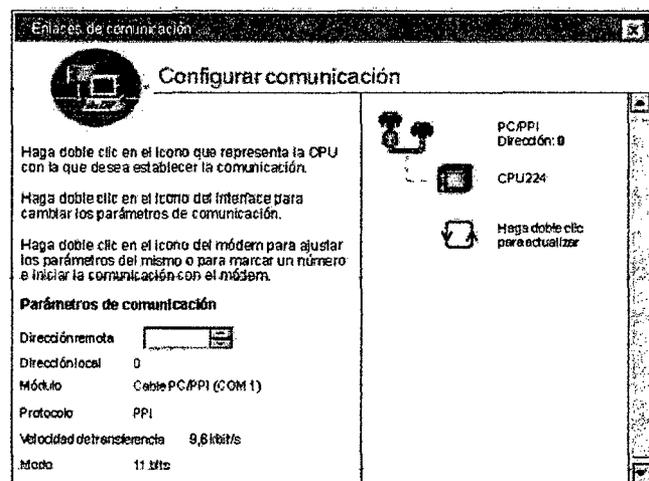


Figura 2.6 Cuadro de diálogo "Configurar comunicación".

2.2.6.10 Cambiar los parámetros de comunicación de la CPU

Para verificar o cambiar los parámetros de comunicación de la CPU, establezca los siguientes pasos:

- Haga clic sobre el icono de comunicación en la barra de navegación.
- Compruebe los valores de configuración ajustados para la comunicación:
 - Dirección: 0
 - Velocidad de transferencia: 9.6 kb/s
 - Puerto COM: 2
- Haga doble clic en el campo destinado a actualizar la comunicación. Con ello, la CPU conectada debería reconocerse y registrarse automáticamente.
- Si la CPU no se reconoce o aparece una información relativa a que no es posible establecer la comunicación, haga doble clic en el campo Cable PPI.
- En la opción Puerto PG/PC, seleccione Cable PC/PPI y sus propiedades.
- En la ventana PPI ajuste la dirección de CPU a 2 y una velocidad de 9,6 kbits/s. En la ventana Conexión local seleccione el puerto (interface) en el que ha conectado el cable PC/PPI. Confirme cada ventana pulsando en Aceptar.
- En la ventana Enlaces de comunicación, haga de nuevo doble clic en el campo destinado a actualizar la comunicación. Con ello la CPU se reconoce y registra de forma automática. Esta operación puede durar algunos segundos. Cierre seguidamente la ventana de los enlaces de comunicación.

2.2.6.11 Prueba de funcionamiento

- Pase el selector de modo de operación del PLC a la posición TERM o RUN. Dicho selector se encuentra bajo una pequeña tapa en el lado frontal de la CPU. El estado operativo (RUN o STOP) sólo puede cambiarse desde el PC/PG si el selector está en la posición **TERM o RUN**.

- Ponga el S7-200 desde el PC en estado operativo STOP y vuelva a ponerlo en RUN según la figura 2.9.

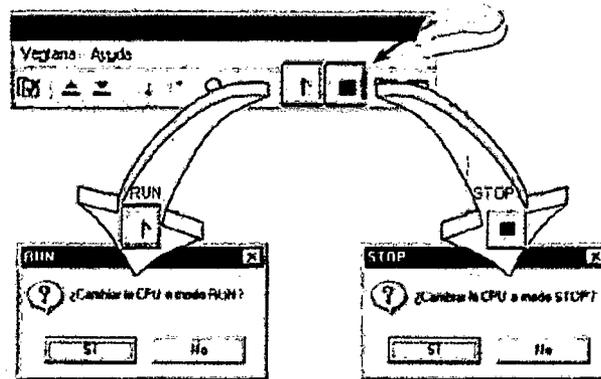


Figura 2.7 Cambiar los modos de operación.

En el estado operativo RUN luce el LED verde RUN. En el estado operativo STOP luce el LED amarillo STOP en el PLC. Si puede conmutar los estados operativos desde el PC esto significa que la conexión entre el PC y el PLC está bien instalada. Si no puede apreciar cambio de estado operativo, compruebe las conexiones del cable, el ajuste de la velocidad de transmisión en el cable PC/PPI así como, en el menú **Ver > Comunicación...**, si ha seleccionado el interface correcto.

2.2.6.12 Transferir el programa al PLC

	Haciendo clic en este icono se pasa el PLC al estado STOP, siempre que el selector de modo en el PLC esté en la posición TERM o RUN y el equipo haya estado previamente en estado RUN (luce el LED STOP). Atención: Con esto ya no se controla más la máquina conectada al PLC.
	Haciendo clic en este icono se transfiere al PLC el programa (abierto) y visualizado en pantalla.
	Haciendo clic en este icono se pasa el PLC al estado RUN, siempre que el selector de modo del PLC esté en la posición TERM o RUN y el equipo haya estado previamente en estado STOP (luce el LED RUN). Atención: Dependiendo del programa puede entrar inmediatamente en movimiento una máquina conectada al PLC.
Advertencia Se pueden producir daños personales y materiales.	
También puede cargarse en su PG/PC un programa contenido en el PLC.	
	Haciendo clic en este icono se transfiere al PG/PC el programa contenido en el PLC. Con ello se sobrescribe el programa actualmente visualizado en pantalla. Atender a que cuando se abandone una instalación se guarde siempre en el disco duro o en el disquete la versión más actual de su programa.

Figura 2.8 Transferencia de programa.

2.2.7 Simulador PLC S7_200. (Versión 3.0 AWL y KOP)

Es un programa que permite simular en un PC el funcionamiento de los programas creados para el autómatas, figura 2.11.

Modificaciones en la versión 3.

La pantalla de presentación se desactiva transcurrida un tiempo.

La clave de acceso se puede introducir desde botones.

Se indica por medio de un icono el funcionamiento stop/run.

Ajuste automático del tiempo de ejecución cíclica para ajustarse a la velocidad del ordenador.

Salidas rápidas en modo PTO y PWM.

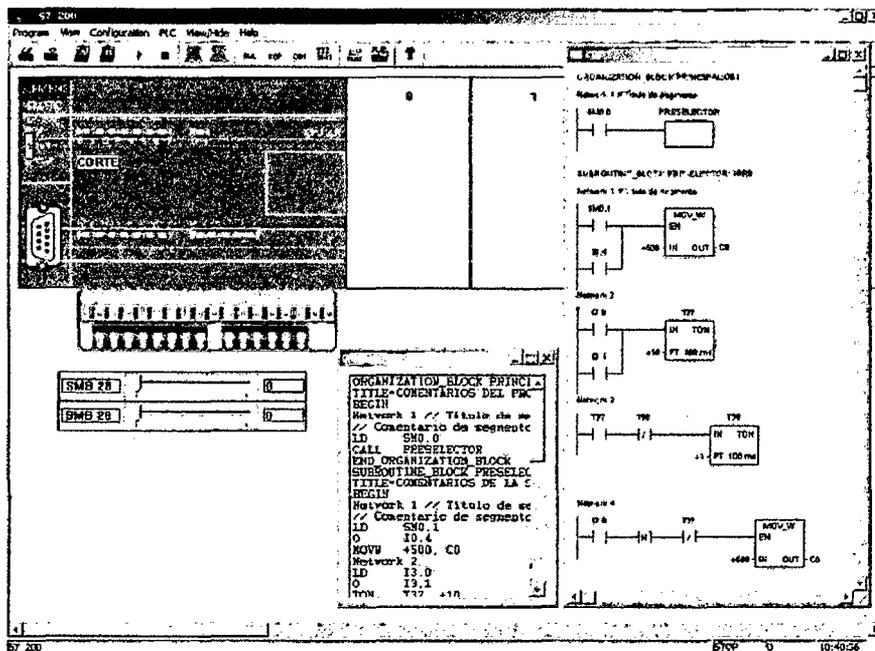


Figura 2.9 ventana principal del simulador S7-200.

Visor de salidas rápidas.

Se incluyen los contadores rápidos.

Subrutinas parametrizables.

Se puede realizar escritura de variables en la tabla de estado.

Se pueden forzar valores en la tabla de estado.

El Simulador S7_200 es un programa en el cual podrás simular el funcionamiento de las CPUs 212, 214, 215, 216, 221, 222, 224, 226.

El tipo de CPU seleccionada se visualiza en pantalla, con la configuración de interruptores de simulación según las entradas.

Con el S7_200 se puede configurar el tipo de CPU, los módulos de entradas / salidas tanto analógicas como digitales, al igual que los potenciómetros analógicos incorporados en la CPU.

En el programa S7_200 comprobarás el funcionamiento del programa (figura 2.12) a través de:

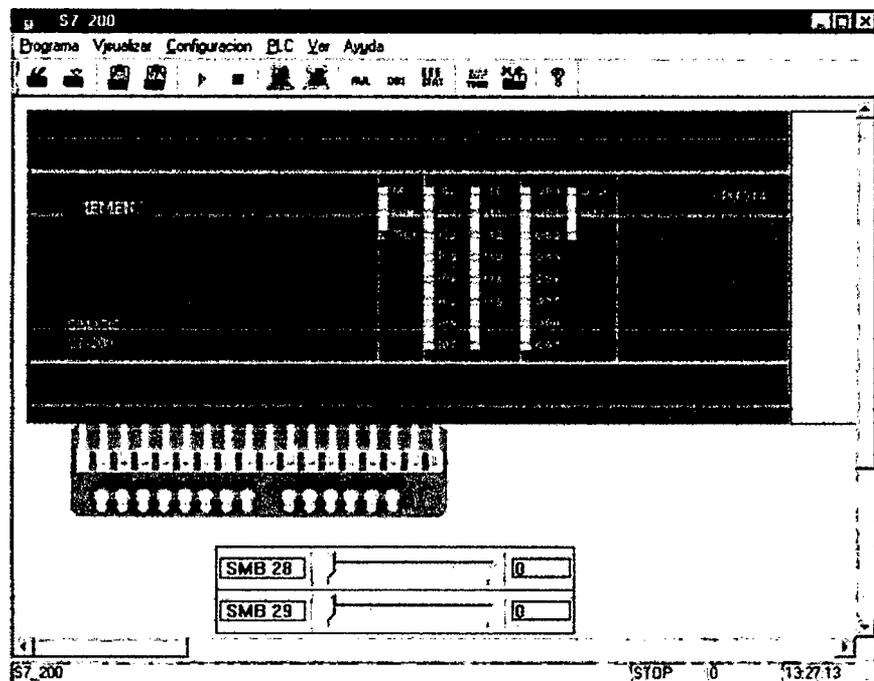


Figura 2.10 Ventana de interruptoras.

- Los interruptores conectados a las entradas digitales.
- Los led de las salidas digitales.
- Los potenciómetros analógicos de entradas.
- Las barras de progreso de las salidas analógicas.
- La tabla de estado.
- El visualizador de textos TD_200.
- La programación del autómata se realiza en el programa STEP 7-MicroWIN 32 V3.1, 3.2, 4.0.

- La transferencia del programa desde MicroWIN al simulador S7_200 se puede realizar de dos formas:
- Exportar el programa desde MicroWIN en formato AWL (recomendado cuando hay subrutinas).
- A través del portapapeles, tanto del programa en AWL, como el módulo de datos DB1.

El programa S7_200 puede (figura 2.13) visualizar:

- El módulo de programa OB1 en AWL, con las subrutinas.

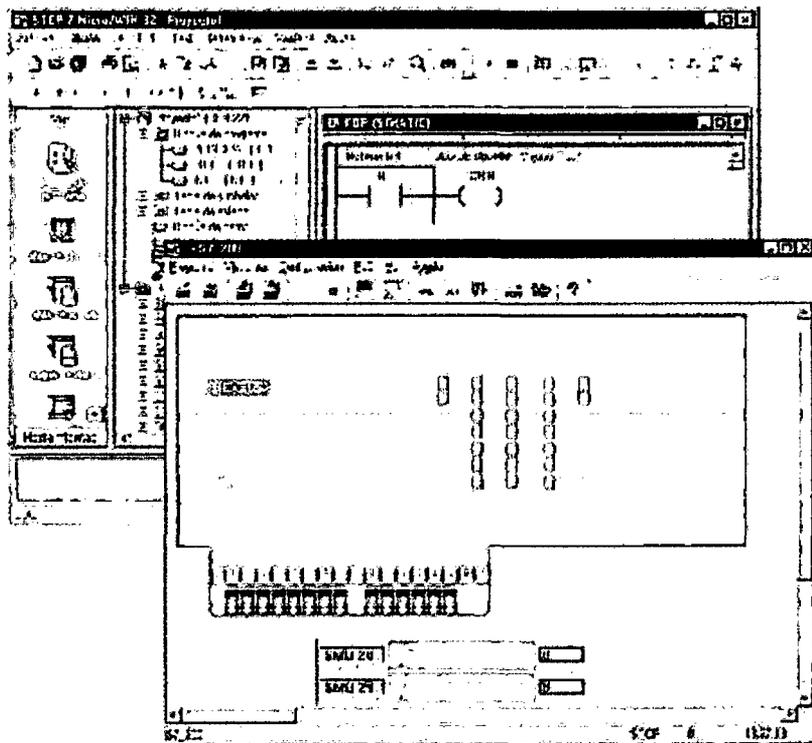


Figura 2.11 Programa en KOP y resultados de simulación.

- El módulo de datos DB1.
- La tabla de estado con los formatos: binario, con signo, sin signo, hexadecimal, binario, ASCII.

A cada CPU se le podrá acoplar los módulos de expansión de entradas salidas digitales o analógicas, mostradas en la tabla 2.4.

Tabla 2.5 Módulos de expansión.

Módulos Digitales	Módulos analógicos	
	CPUs 21x	CPUs 22x
EM221 (8I)		
EM222(8Q)	EM231 (3 I x 12 bits)	EM231 (4 I x 12 bits)
EM223(4I / 4Q)	EM232 (2 Q x 12 bits)	EM232 (2 Q x 12 bits)
EM223(8I /8Q)	EM235 (3I x 12 bits)	EM235 (4I x 12 bits)
EM223(16I / 16Q)	1 Q x 12 bits)	1 Q x 12 bits)

2.2.8 Sensor de humedad

Humedad Relativa (RH)

Expresa y cuantifica la cantidad de vapor de agua contenida en un determinado volumen de aire; se expresa en porcentaje (%) como la relación que hay entre la masa de agua contenida en el aire y la masa de agua que se requiere para producir la saturación del mismo aire. Cuando el aire está saturado, su contenido de agua es el máximo y la humedad relativa es también la máxima o del 100 %.

Sensor de Humedad relativa HS1101:

Está es formado por un condensador de dos láminas como placas y como dieléctrico una lámina no conductora que varia su constante dieléctrica, en función de la humedad relativa de la atmósfera ambiente, figura 2.14.

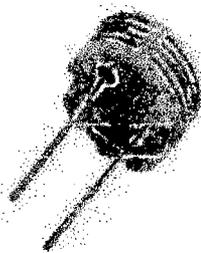


Figura 2.12 Sensor HS1101.

Es esencial para aplicaciones donde la humedad relativa se convierte en un voltaje de salida.

Circuito con el sensor de humedad relativa del aire

Para usar el Sensor de Humedad, los usuarios tienen que construir un cable del conector para conectar el sensor al circuito, en la figura 2.15 se muestra el circuito para el sensor de humedad. Observando la relación entre el voltaje y la humedad relativa % HR se obtienen las respuestas del sensor. Si la humedad relativa medida a mayor temperatura de 45°C, el voltaje correspondiente se pone inestable.

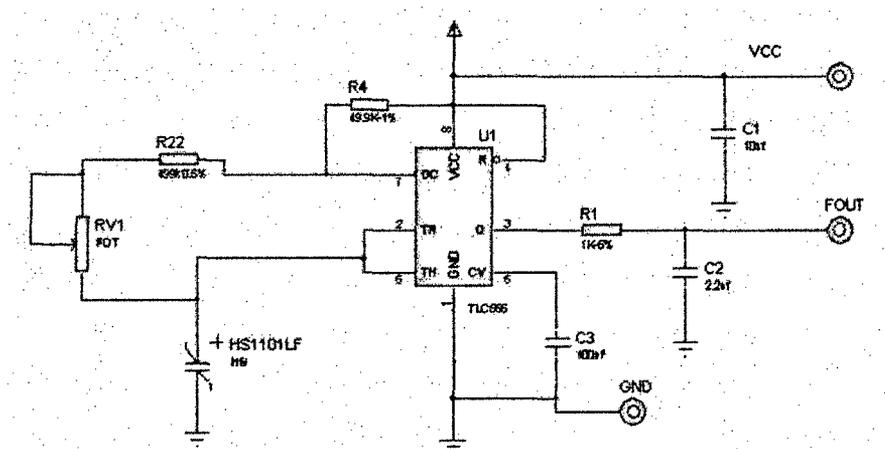


Figura 2.13 Circuito del sensor de humedad relativa HS1101.

Para medir el valor la humedad relativa al interior del invernadero se utilizó el sensor HS1101, el cual estima de forma analógica el valor de la humedad relativa en el ambiente.

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general

El controlador lógico programable S7- 200 de Siemens regula la humedad relativa del aire entre 60 a 70 % en el invernadero para el cultivo del tomate ubicado en el valle de Pampas.

2.3.2 Hipótesis Específicas

- El controlador lógico programable tipo S7 - 200 de Siemens con algoritmo de control PID se utiliza como regulador de la humedad relativa en un invernadero, controlando a 65%.

- Existe relación del xx % inversa entre la temperatura y la humedad relativa en el sistema de control en un invernadero en el cultivo de tomate en el valle de Pampas.

2.4 Variables de estudio

2.4.1 Variable independiente:

El sistema de control de la humedad relativa para invernadero en el cultivo de tomate en el valle de pampas -Tayacaja.= SCHR

2.4.2 Variable dependiente:

Humedad relativa del aire en el invernadero = HRI

Indicador: % humedad relativa del aire de referencia en el invernadero.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 **Ámbito de estudio**

El estudio para tener las características de monitoreo y registro de información fue en el valle de Pampas, se enfocó a analizar las variables de humedad relativa y temperatura en el interior del invernadero en el distrito de Pampas de la provincia de Tayacaja y departamento de Huancavelica, en julio del 2014.

El Distrito de Pampas (Capital de Tayacaja) tiene una extensión de 173 km².

El Distrito de Pampas tiene como límites:

- Norte : Con el Distrito de Huancabamba y Río Opamayo.
- Sur : Con el Río Mantaro y la Provincia Huancavelica.
- Este : Con el Distrito de Daniel Hernández y Colcabamba.
- Oeste : Con el Distrito de Ahuaycha.

El Distrito de Pampas está situada a una altitud promedio de 3 276 m.s.n.m., entre las coordenadas geográficas: Latitud 12° 24' sur, Longitud 74° 52' oeste de Greenwich.

La temperatura varía grandemente con las estaciones, registrándose una temperatura promedio anual de 10,3°C; fluctuando entre una temperatura mínima de 2°C hasta una temperatura máxima de 20°C.

Las precipitaciones empiezan en octubre y se intensifican en enero y febrero, alcanzando su plenitud en marzo. Las precipitaciones promedio varían entre 594 a 829 mm. Durante el invierno que comienza en junio hasta septiembre no se registran precipitaciones, conociéndose como estación seca; La humedad relativa fluctúa desde 20 hasta 60%; Los vientos predominantes se dan en dirección

sudeste a noreste y con mayor intensidad durante los meses de julio y agosto. La velocidad media es de 1,8 a 19 m/seg.

3.2 Tipo de Investigación

El estudio es de carácter de investigación aplicada, porque los resultados se utilizan en la solución del cultivo del tomate en un invernadero, así mismo se utilizó sensor de humedad relativa (HS1101) de última generación, por lo que la investigación es tipo cuantitativo y tecnológico (Delgado Lopez Julio).

3.3 Nivel de Investigación

El nivel de investigación es explicativo, ya que realiza el estudio cuidadoso estructurado en la propuesta a la solución del problema.

3.4 Método de Investigación

El método utilizado en el desarrollo de investigación, se basó en un estudio detallado del sistema de control de humedad relativa en un invernadero, por lo que se tomó las muestras de la humedad relativa por medio del sensor HS1101, teniendo presente que la humedad relativa para el crecimiento ideal del tomate es de 65%, que varía en las zonas tropicales entre 60% al 70%; este dato tomado por el sensor es comparado en el interior del PLC S7-200, si hay diferencia este PLC regula la humedad relativa al 65%; del mismo modo el sensor de temperatura toma el dato del interior del invernadero y lo compara con la temperatura ideal (14,5 °C) que está programado en le interior del PLC, si hay diferencia el PLC regula a 14,5°C.

3.5 Diseño de Investigación

El diseño de investigación es el cuasi experimental con grupos independientes, con pre test y post test, donde se tiene el grupo experimental y el grupo control, como se muestra en la siguiente

$$\begin{array}{r}
 \text{GE: } O_1 \quad X \quad O_2 \\
 \text{GC: } O_3 \quad \quad \quad O_4
 \end{array}$$

Donde:

G.E. Grupo experimental

G.C. Grupo control

O₁ y O₃ Pre test

O₂ y O₄ post test

X: manipulación de la variable independiente

Este diseño es para la humedad relativa y para la temperatura.

3.6 Población, Muestra, Muestreo

3.6.1 Población

Como población se toma la variable humedad relativa del aire en el interior del invernadero y la variable temperatura, logrando tomar 45 muestras para cada variable, ver tabla 2.6.

3.6.2 Muestra

Se tomó muestras de la variable humedad relativa del invernadero para el cultivo de tomate piloto ubicado en el cercado de Pampas, utilizando la ecuación:

$$n = \frac{N * \sigma^2 * Z^2}{(N - 1) * e^2 + \sigma^2 * Z^2}$$

Donde:

N: es el número de muestras tomadas, para la humedad relativa

σ : es la desviación estándar para la humedad relativa (0,64).

e: es el factor de error de muestreo (10%)

Z=-1,96; considerando un nivel de confianza del 95%.

n: es la muestra (28)

3.6.3 Muestreo

Los datos obtenidos son de 45 muestras, los mismos que fueron aleatorizado de acuerdo al número de muestras obtenida en la ecuación de cálculo de número de muestras, que es de 28 muestras aleatorias, se utilizó el software SPSS20 para ese proceso, dando como resultado los siguientes datos.

Tabla 2.6 Resultados de 45 muestras aleatorias, se utilizó el software SPSS20.

N°	Medición de HR% entrada experimento	Medición de HR% salida experimento	Medición de HR% entrada control	Medición de HR% salida control
1	75.23	64.2	74.73	74.98
2	77.26	64.5	76.76	77.01
3	77.88	64.6	77.38	77.63
4	79.01	64.8	78.51	78.76
5	77.01	64.9	76.51	76.76
6	79.12	65	78.62	78.87
7	80.02	65.2	79.52	79.77
8	78.02	65.3	77.52	77.77
9	81.8	65.4	81.3	81.55
10	80.2	65.5	79.7	79.95
11	82.56	65.7	82.06	82.31
12	79.02	65.8	78.52	78.77
13	83.6	65.9	83.1	83.35
14	84.79	66	84.29	84.54
15	85.76	66.1	85.26	85.51
16	74.7	63.9	74.2	74.45
17	74.9	64.01	74.4	74.65
18	75.23	64.1	74.73	74.98
19	77.26	64.2	76.76	77.01
20	77.88	64.3	77.38	77.63
21	78.99	65.1	78.49	78.74
22	79.21	65.1	78.71	78.96
23	78.99	65.2	78.49	78.74
24	80.23	65.3	79.73	79.98
25	80.25	65.4	79.75	80
26	81.34	65.6	80.84	81.09
27	83.27	65.7	82.77	83.02
28	84.03	65.7	83.53	83.78
29	85.3	65.9	84.8	85.05
30	85.26	66.1	84.76	85.01
31	74.78	64.01	74.28	74.53
32	74.79	64.1	74.29	74.54
33	75.29	64.2	74.79	75.04
34	77.3	64.3	76.8	77.05
35	77.8	64.4	77.3	77.55
36	78.95	65.4	78.45	78.7
37	79.28	65.5	78.78	79.03
38	78.98	65.6	78.48	78.73
39	80.27	65.69	79.77	80.02
40	80.26	65.7	79.76	80.01
41	81.39	65.7	80.89	81.14
42	83.28	65.9	82.78	83.03
43	84.08	66.01	83.58	83.83
44	85.39	66.2	84.89	85.14
45	85.29	66.3	84.79	85.04

Tabla 2.7 Resultados de 28 muestras aleatorias, se utilizó el software SPSS20.

N°	Medición de HR% entrada experimento	Medición de HR% salida experimento	Medición de HR% entrada control	Medición de HR% salida control
1	75	64.2	74.73	74.5
2	77	64.5	76.76	77
3	79	64.8	78.51	79
4	77	64.9	76.51	77
5	80	65.2	79.52	80
6	78	65.3	77.52	76.4
7	82	65.4	81.3	81
8	80	65.5	79.7	79.5
9	83	65.7	82.06	82.31
10	79	65.8	78.52	78
11	85	66	84.29	85
12	75	64.01	74.4	75
13	75	64.1	74.73	73
14	78	64.3	77.38	77.5
15	79	65.1	78.49	78.5
16	79	65.2	78.49	78
17	80	65.3	79.73	79.5
18	83	65.7	82.77	83
19	84	65.7	83.53	83.5
20	85	65.9	84.8	85
21	75	64.01	74.28	75
22	75	64.1	74.29	74.54
23	75	64.2	74.79	75.04
24	77	64.3	76.8	77.05
25	79	65.6	78.48	78.73
26	81	65.7	80.89	81.14
27	84	66.01	83.58	83.83
28	85	66.3	84.79	85.04

3.7 Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos

Por las características que permite la población seleccionada como instrumento de recolección de datos y como técnica de instrumentación la observación estructurada se escoge:

TÉCNICAS:

- Análisis documental.
- Observación.
- Captura.

INSTRUMENTOS:

- Ficha de análisis documental.

- Cuaderno de notas.
- Archivo de datos.
- Analizador del sistema.

3.8 Procedimiento de Recolección de Datos

En la recolección de datos se realizan los siguientes procedimientos:

- Utilizando las referencias bibliográficas en el diseño cada una de las etapas del control de humedad del invernadero, se obtienen los datos secundarios.
- Con un software de simulación de las etapas del sistema de control de la humedad del invernadero obtenemos otros datos.
- Implementando y realizando experiencias del modelo propuesto del control de la humedad relativa del invernadero en el valle de Pampas, se obtienen los datos primarios, tabla 2.6.
- Se comparan los datos obtenidos durante los procedimientos anteriores de recolección para demostrar la validez de lo planteado en la investigación.

3.9 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Basándose en el análisis cuantitativo, se realizó el registro de los datos de la variable de referencia (punto de control) así mismo la variación de los datos correspondientes a la variable de control.

Los datos fueron registrados con Excel, mediante el cual se procedió a realizar observaciones y notar las diferencias ocurridas durante la investigación, para demostrar las hipótesis, se utilizó el software SPSS20 teniendo presente comparación de grupos relacionados y grupos independientes como lo detalla el diseño de investigación.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados

Modelo del prototipo

Como resultado del diseño se obtuvo un modelo de invernadero controlado económico, y que consiste en una estructura que recibe el calor del sol.

Como en la zona de estudio el clima es frío y seco se agregó:

- Un sistema de calefacción con tuberías de agua caliente hecho a base de un calentador.
- Un sistema de ventiladores refrigerantes para altas temperaturas.

Todos estos sistemas son leídos con sensores, controlados y automatizados por un PLC S7-200 con CPU 224.

Parámetro humedad relativa a controlar

El sensor HSM-20G mide la humedad relativa del ambiente en el interior del invernadero, una bomba (electroválvula) y un sistema de humidificación se encargan de humidificar el ambiente interior.

Control de la humedad relativa

La humedad relativa variable climática se controla en el interior del invernadero, los sensores analógicos se encargan de captar la humedad relativa ambiental del invernadero, estos proporciona valores entre 0 y 10 V que se corresponden a una humedad relativa entre 0 y 100%. Se configura la humedad relativa ambiental deseada en el interior del invernadero con valor de humedad óptima del 65% para el cultivo del tomate y teniendo en consideración que la humedad relativa ideal para el crecimiento del tomate esta entre el 60 y 70%. Cuando hay exceso de humedad relativa ambiental fuera del rango provoca la puesta en marcha de actuadores encargados de deshumidificar el aire. La reducción de la humedad relativa ambiental fuera de rango se pone en marcha el sistema de humidificación formado por nebulizadores situados en el invernadero.

El diagrama de control de humedad relativa ambiental determinado se muestra en la siguiente figura 4.1.

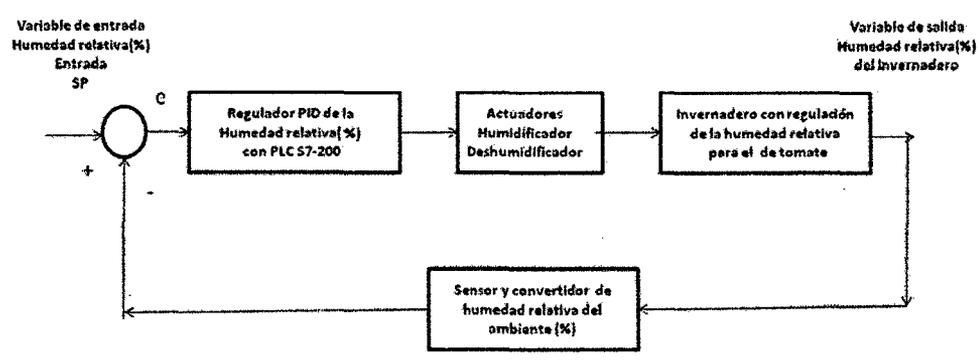


Figura 4.1 Diagrama de control de la humedad relativa ambiental del invernadero.

Cuando el sensor de humedad mide menos del rango diseñado se activa el humidificador, y si es mayor se activa el deshumidificador controlando así los excesos, complementando esto con el sistema de ventilación que se muestra en el diagrama esquemático como se muestra en la figura 4.2.

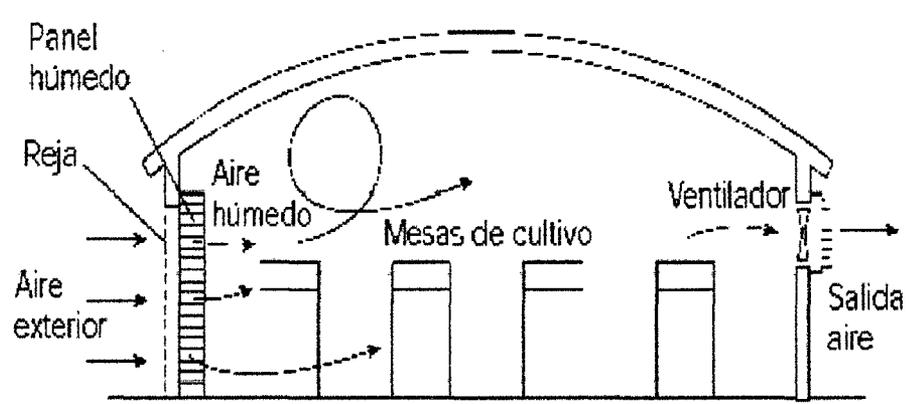


Figura 4.2 Diagrama esquemático del sistema de ventilación accionado por los sensores de humedad relativa ambiental.

Circuito con el sensor HS1101 de la Humedad Relativa Ambiental

Observamos en la figura 4.3 la disposición del sensor utilizado con sus terminales 1 Y 2, El sensor escogido tiene una capacidad de 180pF a 55% de humedad relativa.

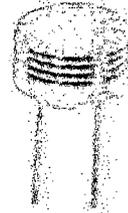
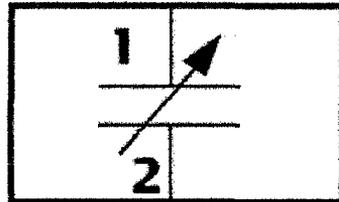


Figura 4.3 Sensor de humedad relativa ambiental.

La expresión que relaciona la capacidad con la humedad relativa es la siguiente:

$$C(\text{pF}) = C@55\% \cdot (3,903 \cdot 10^{-8} RH^3 - 8,294 \cdot 10^{-6} RH^2 + 2,188 \cdot 10^{-3} RH + 0,898)$$

Respuestas del sensor de humedad relativa ambiental

La típica curva de respuesta del sensor, que se obtiene bajo una temperatura de 25°C y una frecuencia de 10KHz, es la siguiente:

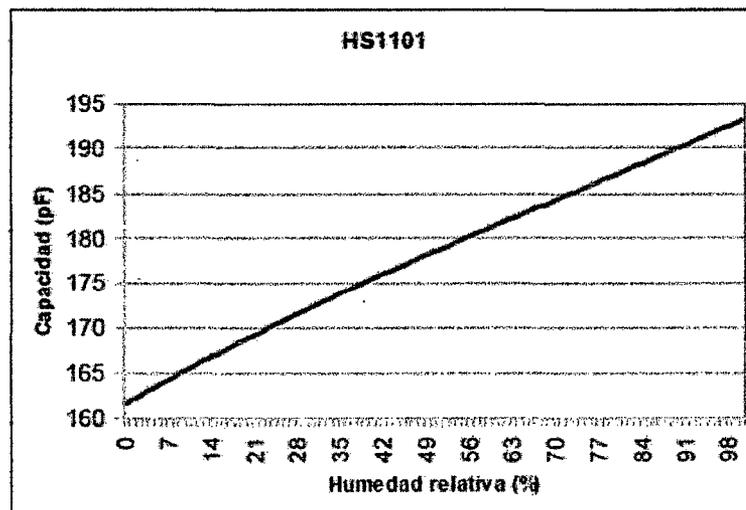


Figura 4.4 curva de respuesta humedad relativa %HR y capacidad en pF.

Las principales características del sensor son las siguientes:

- **Rango de medida:** 1 a 99 %.
- **Tolerancia (10% a 90%):** $\pm 2\%$.
- **Sensibilidad (33% a 75%):** 0,34 pF/%RH.
- **Capacidad nominal (55%):** 180 pF.

Tabla 4.1 Valores de frecuencia según el porcentaje de humedad.

HR (%)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Fout (Hz)	7155	7080	7010	6945	6880	6820	6760	6705	6650

HR (%)	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Fout (Hz)	6600	6550	6500	6450	6400	6355	6305	6260	6210

MODELO DEL CONTROLADOR PID

El controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) hace que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida del proceso sea cero de manera asintótica en el tiempo, lo que se logra mediante el uso de la acción integral. Además el controlador tiene la capacidad de anticipar el futuro a través de la acción derivativa que tiene un efecto predictivo sobre la salida de proceso.

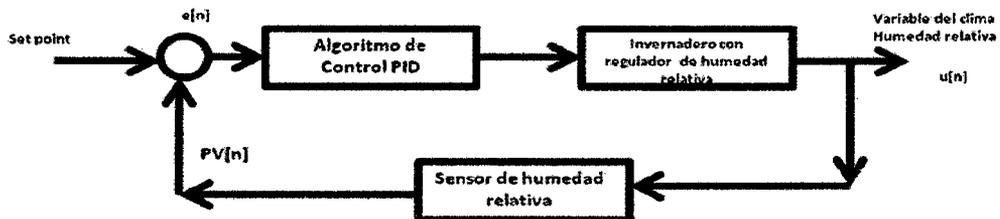


Figura 4.5 Lazo de control PID.

Se muestrea con $t = n T$, $T =$ periodo de muestreo, $n =$ entero número de muestra, se obtiene la ecuación discretizada:

$$u[n] = K_p \cdot e[n] + K_i \cdot T \sum_{j=0}^n e[j] + K_d \cdot \frac{e[n] - e[n-1]}{T}$$

Esta es la ecuación de un PID digital, a partir de ella se elabora el algoritmo de control con los controladores lógicos programables para el control de humedad relativa ambiental en un invernadero. Al implementar un algoritmo PID en el PLC se logra realizando el siguiente desplazamiento en el tiempo:

$$u[n-1] = K_p \cdot e[n-1] + K_i T \sum_{j=0}^n e[j] + K_d \cdot \frac{e[n-1] - e[n-2]}{T}$$

Por lo tanto se obtiene el siguiente resultado:

$$u[n] = u[n-1] + K_p(e[n] - e[n-1]) + K_i * T * e[n] + \frac{K_d}{T} (e[n] - 2 * e[n-1] + e[n-2])$$

Ecuación ideal del PID, asumiendo que el setpoint no varía en el tiempo es decir:

$$e[n] = SP - PV[n]$$

En la práctica el valor del setpoint SP varía con el tiempo y la variable del proceso PV es lenta y la variación repentina del Setpoint hace que la ecuación del PID digital no responda satisfactoriamente, ya que el término proporcional y derivativo pueden aumentar el error transitorio debido a las variaciones bruscas del setpoint dando como resultado un comportamiento indeseado del controlador.

Si la respuesta a la variación del setpoint sigue siendo fuerte con el fin de minimizar el error, en los sistemas en que los cambios repentinos en la salida del PID no son aceptados por los controladores de este tipo, por lo tanto el error esta dado por:

$$e[n] = SP[n] - PV[n]$$

ALGORITMO Y RESPUESTA DEL CONTROLADOR PID IMPLEMENTADO

El algoritmo implementado en el PLC se desarrolló basado en la ecuación $u[n]$ como el PID digital.

ALGORITMO Y RESPUESTA DEL CONTROLADOR PID IMPLEMENTADO

El algoritmo implementado en el PLC se desarrolló basado en la ecuación $u[n]$ como el PID digital.

Utilizando el lenguaje de programación escalera, este algoritmo fue diseñado e implementado para el PLC siemens S7 – 200 con CPU 224 utilizando el Software STEP 7-Micro/WIN.

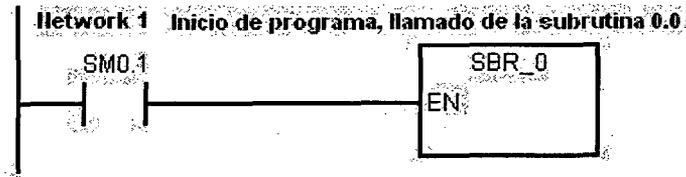
En la figura se observa la lógica de programación de la ecuación $u[n]$.

Programa en el PLC S7-200

Tabla 4.2 Tabla de símbolos.

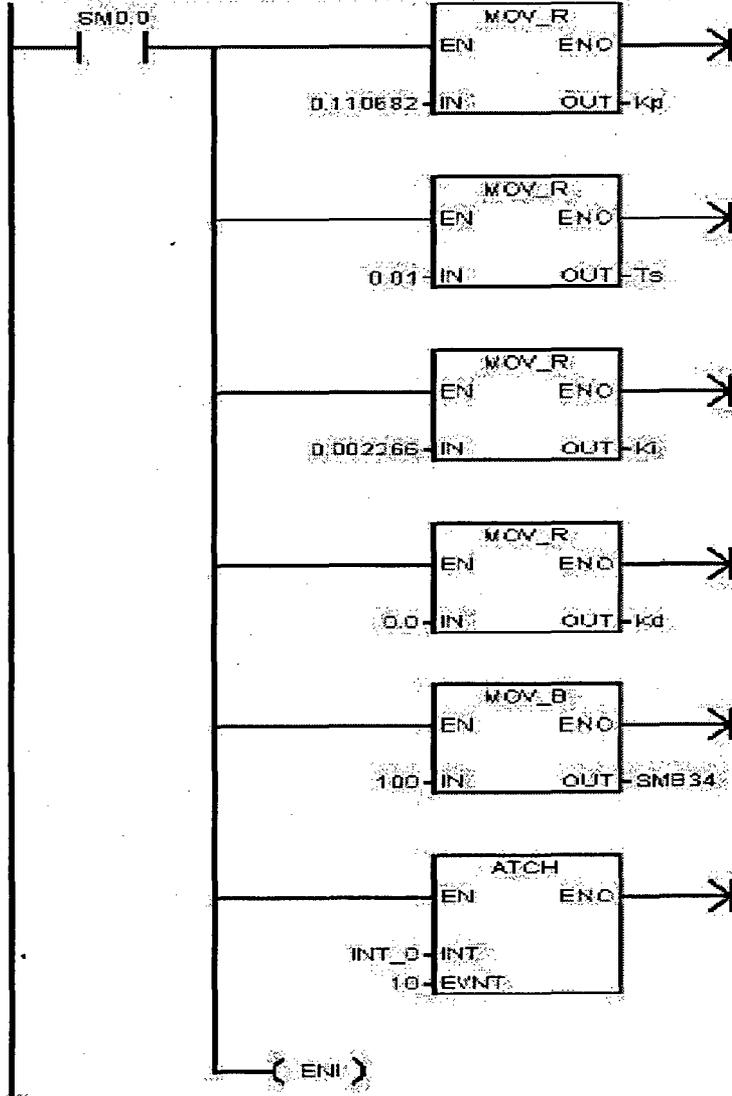
Inicio	I0.0	Inicio de proceso
Proceso	M0.0	Marca de proceso
Paro	I0.1	Paro del proceso
Valor_deseado	AIW10	Valor deseado de humedad
Salida	AQW4	Salida del control
Sensor_hum	AIW8	Sensor de humedad relativa del invernadero
MEM_hum	VD100	Memoria del sensor de la humedad
MEM_des	VD104	Memoria del sensor del valor deseado
MEM_salida	VD108	Memoria de salida de control
Kp	VD112	Valor Kp
Ts	VD116	Tiempo de Muestreo
Ki	VD120	Valor de Ki
Kd	VD124	Valor de Kd
MEM_BIAS	VD128	Memoria BIAS
MEM_valorant	VD132	Valor anterior
Retardo	T32	Timer de retardo

PROGRAMA PRINCIPAL

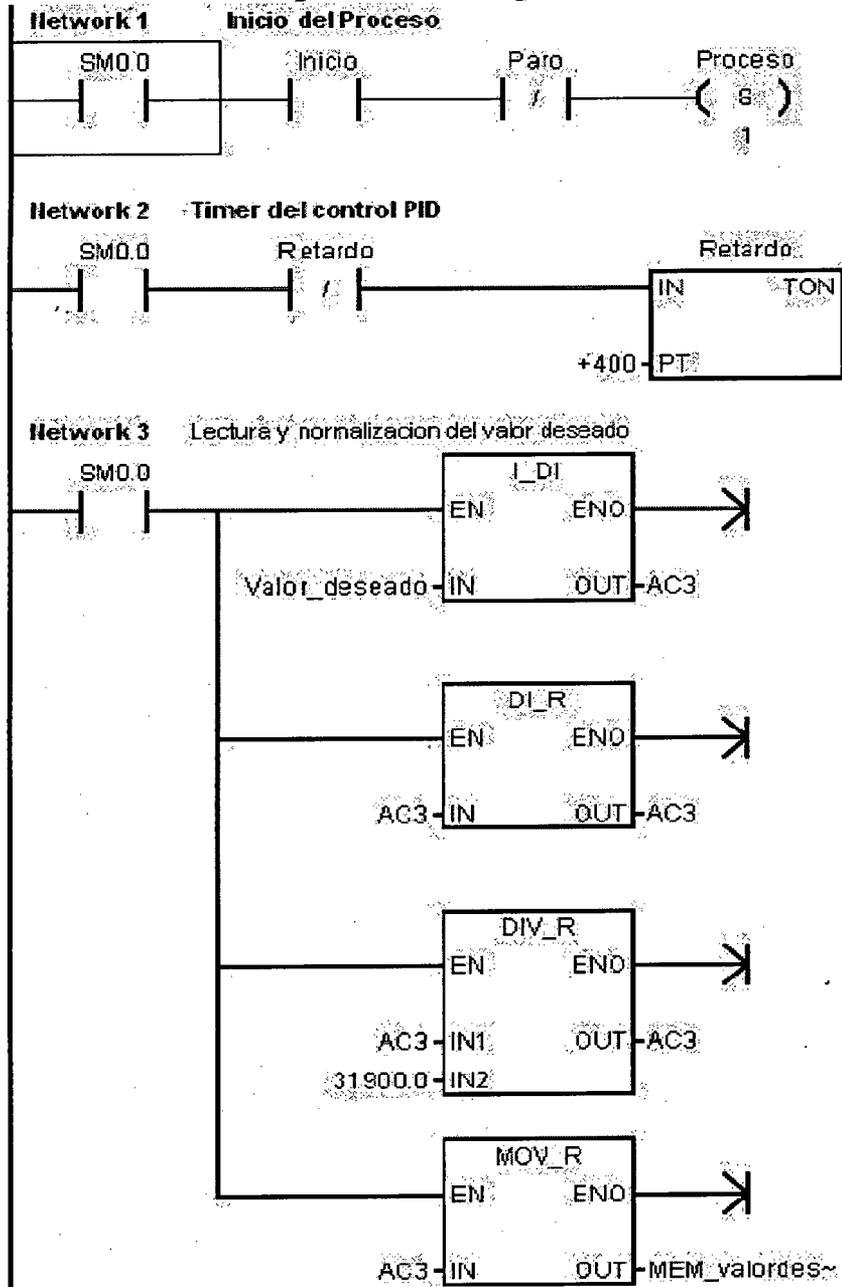


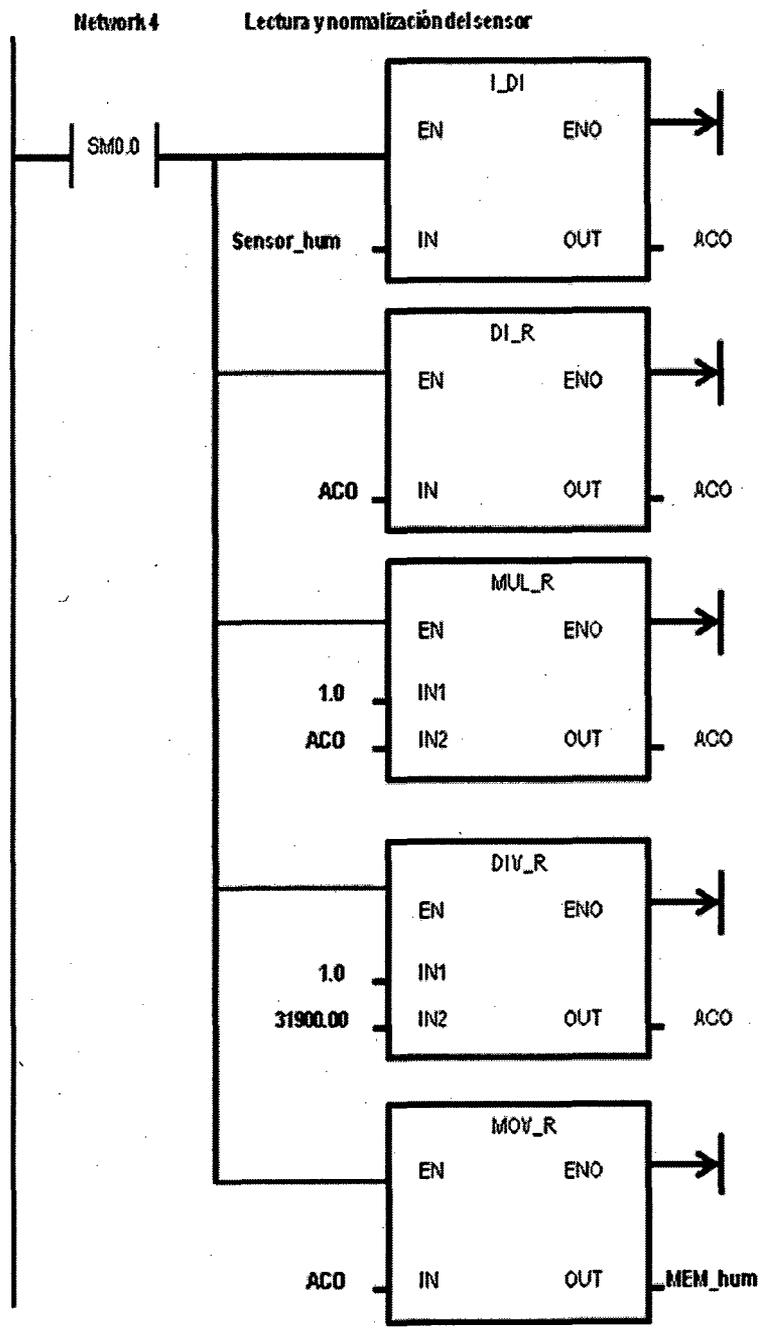
SUBROUTINA 0

Network 1: Carga de constante del modelo en la tabla PID



INTERRUPCION 0





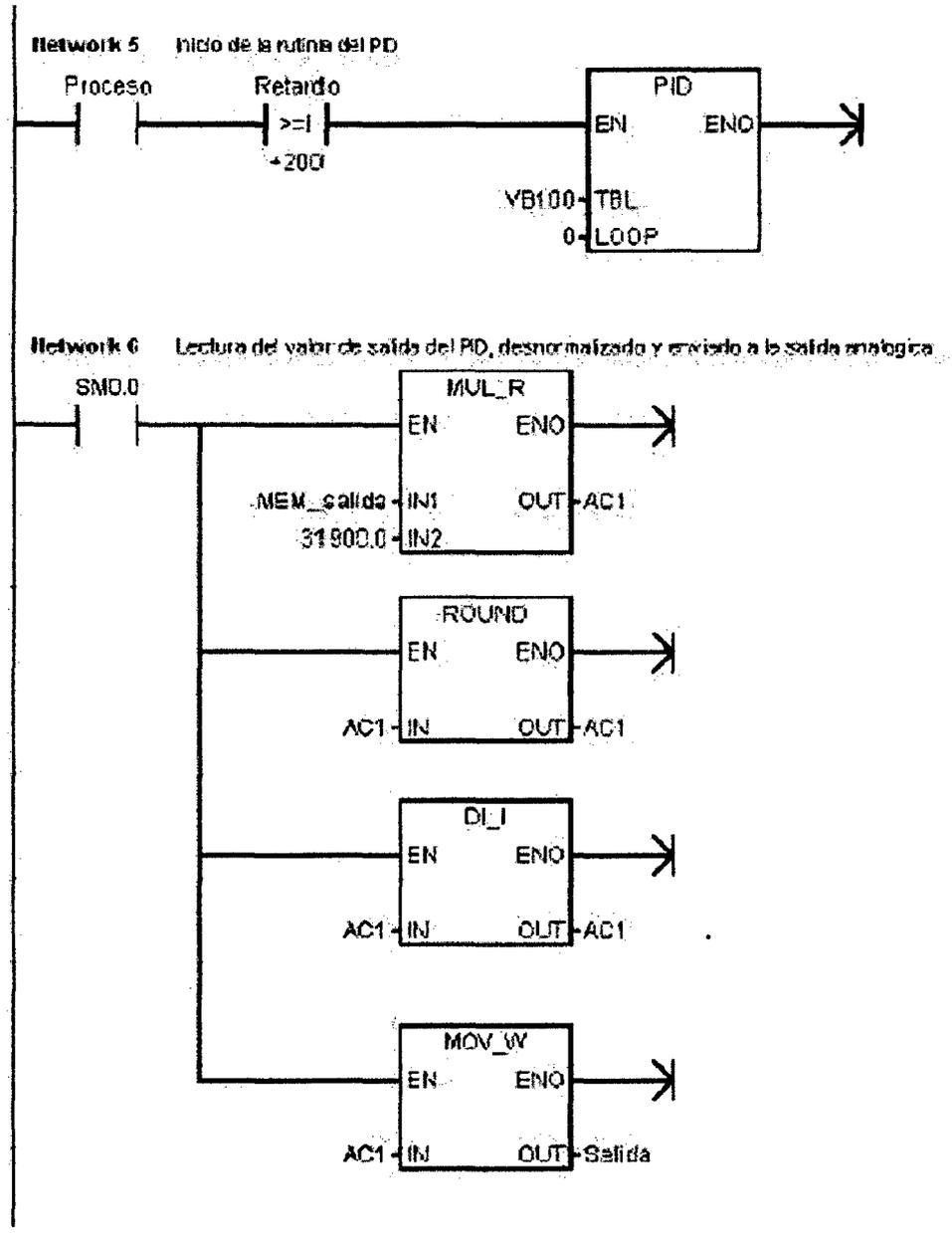


Figura 4.6 Control PI de Humedad Relativa Utilizando PLC S7-200 Siemens.

Resultados en el invernadero controlado

- Los datos estadísticos para el grupo de experimentación fueron los siguiente:

Tabla 4.3 Estadística descriptiva datos de entrada experimento.

Estadística descriptiva de datos de entrada experimento	
Media	79.55571429
Error típico	0.568208786
Mediana	79.07
Moda	75.23
Desviación estándar	3.006678281
Varianza de la muestra	9.040114286
Curtosis	-0.5033309
Coefficiente de asimetría	0.297132749
Rango	11.06
Mínimo	74.7
Máximo	85.76
Suma	2227.56
Cuenta	28
Nivel de confianza (95.0%)	1.165868127

Tabla 4.4 Estadística descriptiva datos de salida experimento.

Estadística descriptiva de datos de salida experimento	
Media	65.18933333
Error típico	0.10646591
Mediana	65.4
Moda	65.7
Desviación estándar	0.714195033
Varianza de la muestra	0.510074545
Curtosis	-1.157959373
Coefficiente de asimetría	-0.399111718
Rango	2.4
Mínimo	63.9
Máximo	66.3
Suma	2933.52
Cuenta	45
Nivel de confianza (95.0%)	0.214567942

- De los datos estadísticos de entrada al experimento se observa que el promedio de la humedad relativa es de 79.55%, por lo que es perjudicial para el crecimiento del tomate dentro del invernadero.
- De los datos estadísticos de salida al experimento se observa que el promedio de la humedad relativa es de 65.18%, de lo que podemos aseverar que ésta humedad relativa está dentro del rango de 60% al 70%, siendo esta humedad relativa ideal para el crecimiento del tomate.
- De lo anterior se podemos afirmar que el sistema de control de la humedad relativa con el PLC S7-200 logra mejorar las condiciones ambientales para el crecimiento adecuado del tomate dentro del invernadero.
- El invernadero para el cultivo de tomates controlando la humedad relativa ambiental utiliza el controlador lógico programable S7 200 de Siemens con regulación del algoritmo PID ofrece mayor productividad.
- Garantía de tener una producción de calidad debido a tener un mayor control de la humedad relativa ambiental que es un factor climático adverso al cultivo (heladas, granizo, sequías, excesos de viento).
- Cultivar y producir tomate fuera de época.
- Tener más oportunidad de comercializar cultivos de tomate de alta calidad en un mercado competitivo.
- En el experimento del prototipo se han obtenido resultados satisfactorios en la condición de microclima de humedad relativa de 65% durante el día, tarde y la noche.
- Estos fueron los resultados finales después de haber hecho pruebas y haber programado varias veces los módulos pero al fin se obtuvo lo que se quería.
- El sistema de control de humedad relativa cumple con la función de controlar la humedad relativa dentro del rango en el cual se ha diseñado el sistema y dentro de los límites de la humedad que se le otorgan al sistema mediante el programa (valores preestablecidos); para mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas en el invernadero.
- Se realizó una maqueta del sistema con la tarjeta de control y la de potencia para realizar pruebas y obtener resultados.

- Con el control de la humedad relativa interna del invernadero se logra crear un microclima interno de acuerdo a la especie a cultivar, este microclima es el adecuado para un buen desarrollo y crecimiento de las plantas cultivadas.
- Los resultados obtenidos son los deseados, pues ante una variación de la humedad el sistema de control acciona a los actuadores regulando la humedad interna del invernadero y tratando de que ésta se mantenga cercana a la humedad óptima o dentro de un rango en el cual el cultivo no se vea afectado drásticamente.

4.2 Discusión

El sistema tiene una muy buena respuesta cuando la humedad relativa que se persigue es menor a la humedad relativa inicial del invernadero (se necesita enfriamiento); no obstante, presenta muy mala respuesta de humedad relativa cuando el valor deseado es superior a la humedad relativa inicial (se necesita calentamiento). Lo anterior debido a que el sistema fue diseñado para enfriar el invernadero con el uso del ventilador y no se agregaron calefactores para incrementar la humedad relativa, puesto que en un invernadero el problema a resolver es enfriar el ambiente y para esto no se necesitan calefactores.

4.2.1 Prueba de la hipótesis

- a) Para la prueba de hipótesis de la humedad relativa del grupo experimental:

Planteamiento de la hipótesis:

Hipótesis nula = H_0

La humedad relativa dentro del invernadero sin el sistema de control es igual a la humedad relativa que proporciona el controlador lógico programable tipo S7 – 200 de Siemens con algoritmo de control PID (65%), para el crecimiento de tomate.

Hipótesis alternativa = H_1

La humedad relativa dentro del invernadero sin el sistema de control es diferente a la humedad relativa que proporciona el controlador lógico programable tipo S7 – 200 de Siemens con algoritmo de control PID (65%), para el crecimiento de tomate.

Planteando la hipótesis estadística

Siendo μ_1 el promedio de la humedad relativa dentro del invernadero sin controlador lógico programable tipo S7 – 200 de Siemens con algoritmo de control PID

Siendo μ_3 el promedio de la humedad relativa dentro del invernadero con el controlador lógico programable tipo S7 – 200 de Siemens con algoritmo de control PID.

H0: $\mu_1 = \mu_3$

H1: $\mu_1 \neq \mu_3$

De la comparación de medias de los grupos relacionados: media de datos de entrada sin el controlador lógico programable tipo S7 – 200 de Siemens con algoritmo de control PID; y la media de los datos con el controlador lógico programable tipo S7 – 200 de Siemens con algoritmo de control PID; procesado con el SPSS20, se obtiene en la siguiente tabla:

Tabla 4.5 Pruebas de muestras diferencias relacionadas procesado con el SPSS20.

Prueba de muestras relacionadas									
		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Salida Experimento Entrada experimento	14.3275	2.75114	.51992	-15.39428	-13.26072	27.557	27	.000
Par 2	Salida control - Entrada control	.05143	.53328	.10078	-.15536	.25821	.510	27	.614

De la prueba de Fischer, se observa que el sig=0.00 (muy significativo) y el nivel de significancia $\alpha=5\%$.

Prueba:

Sig < α , se rechaza la hipótesis Ho, y se acepta la hipótesis alterna H1.

“La humedad relativa dentro del invernadero sin el sistema de control es diferente a la humedad relativa que proporciona el controlador lógico programable tipo S7 – 200 de Siemens con algoritmo de control PID (65%), para el crecimiento de tomate”.

- b) Para la prueba de hipótesis de la humedad relativa de la salida del grupo experimental, con la humedad relativa de la salida del grupo control:

Planteamiento de la hipótesis:

Hipótesis nula = Ho

La humedad relativa dentro del invernadero control es igual a la humedad relativa que proporciona el controlador lógico programable tipo S7 – 200 de Siemens con algoritmo de control PID (65%), para el crecimiento de tomate.

Hipótesis alternativa = H1

La humedad relativa dentro del invernadero control no es igual a la humedad relativa que proporciona el controlador lógico programable tipo S7 – 200 de Siemens con algoritmo de control PID (65%), para el crecimiento de tomate.

Planteando la hipótesis estadística

Siendo μ_4 el promedio de la humedad relativa dentro del invernadero control.

Siendo μ_3 el promedio de la humedad relativa dentro del invernadero con el controlador lógico programable tipo S7 – 200 de Siemens con algoritmo de control PID.

Ho: $\mu_4 = \mu_3$

H1: $\mu_4 \neq \mu_3$

De la comparación de medias de los grupos independientes: media de datos de salida del invernadero control y la media de los datos de salida con el controlador lógico programable tipo S7 – 200 de Siemens con

algoritmo de control PID; procesado con el SPSS20, se obtiene en la siguiente tabla:

Tabla 4.6 Pruebas de muestras independientes para igualdad con el SPSS20.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Salida	Se han asumido varianzas iguales	36.292	.000	20.48	54	.000	13.93750	.68044	12.57330	15.30170
	No se han asumido varianzas iguales			20.48	29.24	.000	13.93750	.68044	12.54636	15.32864

De la prueba de Fischer, se observa que el sig=0.00 (muy significativo) y el nivel de significancia $\alpha=5\%$.

Prueba:

Sig < α , se rechaza la hipótesis Ho, y se acepta la hipótesis alterna H1.

“La humedad relativa dentro del invernadero sin el sistema de control es diferente a la humedad relativa que proporciona el controlador lógico programable tipo S7 – 200 de Siemens con algoritmo de control PID (65%), para el crecimiento de tomate”.

CONCLUSIONES

- La humedad relativa que proporciona el sistema de control con el controlador lógico programable Siemens Simatic S7 - 200 y CPU 224 regula al 65%, en el crecimiento de los tomates dentro del invernadero, en el valle de Pampas.
- El regulador proporcional integral y derivativo implementado en el controlador lógico programable, es un algoritmo de control que regula satisfactoriamente, y se encuentran en la mayoría de controles de invernaderos con esta tecnología. El diseño del lazo de control, se basó el análisis unificado entre las necesidades de desempeño en frecuencia y en tiempo, ya que cada uno de éstos aporta diferentes criterios de estabilidad.
- Se observa que el sistema de control de humedad relativa, facilita el crecimiento biológico de la planta de tomate, simulando un ambiente tropical con la humedad relativa que requiere esta planta (60% al 70%).
- aproximado a lo logra un ahorro de tiempo y coste económico al agricultor / propietario del invernadero en el proceso de control de la humedad relativa ambiental al cultivar el tomate debido a la automatización del proceso.
- Como se pudo observar los objetivos del proyecto se cumplieron pues logramos desarrollar un sistema digital capaz de controlar los niveles de humedad relativa en un invernadero.
- Por último podemos agregar que contamos con el apoyo de dos invernaderos, uno para el grupo de control y el otro para el grupo del experimento.

RECOMENDACIONES

- En nuevas investigaciones sobre el tema, realizar la adquisición de otros parámetros ambientales, con sensores que cada vez tienen mejor resolución, para realizar un manejo interactivo de parámetros para el diseño de microclimas controlados automáticamente.
- El sistema de control con el controlador lógico programable desarrollado en la tesis se puede ampliar su aplicación debido a la modularidad que ofrece, sea en cuanto a la adquisición de un mayor número de señales analógicas o digitales, para controlar un mayor número variables. El Simatic S7-200 con CPU 224 nos permite expandir hasta 7 módulos de ampliación, para lo cual deberíamos poner los módulos necesarios y realizar cambios en el software de programación, para otras condiciones de aplicación.
- Se puede utilizar este sistema de control para el monitoreo de diferentes procesos de automatización ya que se puede procesar grandes cantidades de información en tiempo cortos y realizar la comunicación con otros dispositivos.
- Recomendar a los investigadores en la automatización de invernaderos, estudiar el prototipo diseñado y mejorarlo en sus características ya que se ha realizado la parte de automatización de la humedad relativa del ambiente, ejemplo riego, temperatura, velocidad y dirección del viento, dióxido de carbono, seguridad, registro y monitoreo de plagas y enfermedades de las plantas, etc.
- Se puede desarrollar la automatización de los invernaderos proporcionándole al sistema de control de microclima y a los sensores de energía renovable natural por ejemplo la energía solar.
- Se requiere calibrar todos los sensores de humedad relativa ambiental antes de ser leídos por el controlador lógico programable, para logra un control de la humedad relativa ambiental, humidificación y deshumidificación satisfactoria.
- La parte de la simulación fue muy importante, pues al comenzar con el código y cuando a un no contábamos los componentes necesarios compilábamos una y otra vez haciendo uso de los recursos que nos ofrece el simulador PLC S7-200.

- Cabe mencionar que cuando estuvimos llevando a cabo el diseño nos encontramos con detalles lógicos que no estaban contemplados o que a simple vista no se detectaron pero que gracias al trabajo en equipo pudimos resolver estos detalles sin demorar demasiado tiempo.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Carrillo DA, Vázquez JL, Villela R, Beltrán A, Reyes C, Reyes ME. Control del clima de un invernadero. México: Universidad Autónoma de Zacatecas; 2008.
- [2] Valencia EJ. Interfaz de software entre un computador personal y un PLC mediante un driver de comunicación y su aplicación al control y monitoreo de un invernadero. Ecuador: Escuela Politécnico Nacional; 1999.
- [3] Carrillo DA, Vázquez JL. Automatización de un invernadero con el PLC S7-200. México: Universidad Autónoma de Zacatecas; 2008.
- [4] Macias SP, Intriago CI. Construcción de un prototipo para un invernadero. Ecuador: Universidad Laica "Eloy Alfaro"; 2007.
- [5] López LA. Diseño de un sistema de control de temperatura on/off para aplicaciones en invernadero utilizando energía solar y gas natural. Perú: Pontificia Universidad Católica; 2008.
- [6] Hernández M. Automatización de microclima en invernadero. México: Instituto Tecnológico de estudios superior de Monterrey; 2007.
- [7] Melich B. Automatización de un invernadero. España: Universitat Rovira I Virgili; 2011.
- [8] Díaz HO, Solano OF. Diseño y simulación del control climático para un invernadero y base de datos de registro. Colombia: Universidad De La Salle; 2006.
- [9] Quinaluisa KJ, Remache LF. Aplicación del PLC S7 – 200 CPU 224 en la automatización de máquinas eléctricas. Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército; 2008.
- [10] Miranda JF. Aplicación de los algoritmos PID a un controlador lógico programable. Costa Rica: Universidad Costa Rica; 2004.
- [11] Smith CA, Corripio AB. Control automático de procesos, teoría y práctica. México: Limusa Noriega Editores; 2000.
- [12] Del Carmen AM, Hernández CV. Control PID de la velocidad de una banda transportadora para la clasificación de objetos. México: Universidad Autónoma de Zacatecas; 2008.

- [13] Mesa P. Implementación de un PLC en un sistema de regulación PID para el control de procesos de nivel, presión, temperatura y velocidad. Venezuela: Universidad Central de Venezuela; 2004.
- [14] Muñoz JA, Núñez DA. Automatismo de invernadero en clima templado. Colombia: Universidad San Buenaventura; 2012.
- [15] Llesma Juan Javier. Monitor remoto de temperatura y humedad. España: Universidad Politécnica de Valencia; 2011.
- [16] Delgado JC, Montoya J, Sandoval OA. Control de temperatura con el PLC S7-200. México: Universidad Autónoma de Zacatecas; 2007.
- [17] Sistema de control automático para monitorear y controlar el ambiente al interior de un invernadero. Juan Pablo Múnera-Campuzano. Venezuela: Universidad Pontificia Bolivariana; 2012.

ARTÍCULO CIENTÍFICO

SISTEMA DE CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA PARA UN INVERNADERO UTILIZANDO EL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE CONTROL SYSTEM FOR A GREENHOUSE MOISTURE RELATIVE USING THE PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

Godofredo Aliaga Mendoza

Pedro Rogelio Quispe Bolaños

Universidad Nacional de Huancavelica - Facultad de Ingeniería Electrónica-Sistemas

RESUMEN

La investigación realizada consiste en llevar a cabo el control de la humedad relativa en un invernadero para el cultivo de tomates, llevando la variable a un valor previamente determinado, mediante la utilización del Controlador Lógico Programable como control principal, este control electrónico del invernadero, maneja los distintos factores de la humedad, leídas por el Controlador Lógico Programable y esta activará los calefactores, y extractores, se utiliza los sensores HSM-20G para la medición de la humedad, esta se muestreará con sensores de humedad donde la señal muestreada será leída por el procesador, esta señal en el procesador verificará si la humedad ha variado, darse el caso, activará las electroválvulas para así suplir la humedad necesaria.

Para obtener el control se realiza el cálculo de las ganancias K_p , K_i y K_d del controlador de tipo PID, dichas ganancias son introducidas en la programación del Controlador Lógico Programable obteniendo así el control de la variable deseada mediante la activación y desactivación de las cargas encargadas de aumentar (humidificadores) o disminuir (calefactor) la humedad según sea requerido.

Palabras clave: Invernadero, humedad relativa, clima, controlador, programa en escalera.

ABSTRACT

The investigation is to carry out the control of relative humidity in a greenhouse for growing tomatoes, carrying the variable to a predetermined value by using the programmable logic controller as main control, this electronic control greenhouse handle the various factors of moisture, read by the Programmable Logic Controller and it will activate the heating and exhaust sensors HIH-4010-003 for moisture measurement is used, this will be sampled

with moisture sensors where the signal is sampled read by the processor, this signal processor verifies if the humidity has varied, be the case, so as to activate the solenoid valves supply the needed moisture.

For control the calculation of K_p , K_i and K_d controller PID gains are made, such gains are introduced in the programming of Programmable Logic Controller obtaining control of the desired variable by activating and deactivating loads charge increase (humidifiers) or decrease (heating) moisture as required.

Key words: Greenhouse, relative humidity, climate, controller, ladder program.

INTRODUCCION

Se construyó un invernadero piloto el cual tiene una estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro del cual se obtienen condiciones artificiales favorables para producir cultivos agrícolas, así dentro de este se consigue un aislamiento tanto térmico como de agentes contaminantes de cultivos. Es un invernadero para el cultivo de tomates en el que no se distinguen diferentes áreas y en el que cada una de las plantas cultivadas requiere los mismos tratamientos tanto a nivel de alimentación como medioambientales.

El invernadero es controlado y cuenta con dispositivos que permiten regular y modificar las condiciones de la humedad relativa, generando un microclima.

La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental, se expresa en tanto por ciento%. Dado que el aire caliente posee la característica de absorber más vapor que el aire frío, las personas sienten que en el invierno el aire es demasiado seco mientras que en verano es muy bochornoso. Cuando la humedad relativa es alta, favorece el desarrollo de enfermedades, se presentan una serie de desordenes que afectan la calidad de los frutos, como son: manchado, grietas, cara de gato o malformación del fruto y frutos huecos, se dificulta la fecundación por la compactación del polen y además las flores pueden caerse. Cuando la humedad relativa es baja, aumenta la transpiración de la planta, se reduce la fotosíntesis y se seca el polen, produciéndose igualmente anomalías en la fecundación.

Como resultado de la investigación se obtiene un sistema de control automático de humedad relativa para un invernadero, que cuenta con calefacción, ventilación y que permite proteger a los cultivos de los cambios de la humedad relativa que es uno de los factores climáticos, que surge como consecuencia de la presencia de las heladas, granizo, sequías, excesos de viento, y otros factores perjudican el cultivo del tomate en climas que no es para la producción.

Este invernadero controla la humedad relativa, y así se podrá cultivar plantas todo el año en condiciones óptimas. Permite producir tomates de excelente calidad, rentables (en cualquier época del año) y acordes con las exigencias de los mercados.

El fin de esta investigación es incluir el control automático en un sistema de control de humedad relativa para el cultivo de tomates, de tal manera que permita mejorar su desempeño dinámico y que las variables de interés alcancen los valores deseados. Es decir que la variable humedad, pueda regularse en valores deseados o variar en el tiempo siguiendo una trayectoria definida. Dando una solución que se incluye el uso de un controlador lógico programable con algoritmo de control PID, el cual será el encargado de activar y desactivar mecanismos que permitan la regulación de la humedad relativa.

A lo largo de esta investigación se realizó la programación, simulación de todas estas tareas utilizando para ello un autómata programable S7-200 de Siemens y los paquetes informáticos de simulación S7-200 libre, realizados en el laboratorio de control y automatización de la Escuela Académico Profesional de Electrónica de la Universidad Nacional de Huancavelica.

Como resultado final de la tesis de investigación se consiguió regular la humedad relativa con un controlador PID programado con el controlador lógico programable en el rango del 60 al 80 % que es lo óptimo para el desarrollo del cultivo de tomates según las investigaciones realizadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sensor de humedad relativa HSM-20G (4)

Humidificadores (2)

Calefactor

Un prototipo como invernadero

Controlador lógico programable S7 – 200 con CPU 224

Etapa de potencia y pre amplificación

El prototipo como invernadero tiene una dimensión de 1.5 m de largo por 1 m de ancho, tanto los sensores como humidificadores se ubican a extremos del prototipo, asegurando cubrir el mayor espacio del recinto.

Las señales proporcionadas por los sensores son del orden de los mV por lo que antes de ser enviados al controlador lógico programable se amplifican, aplicando etapas de acondicionamiento de señal.

RESULTADOS

Modelo planteado

Como resultado del diseño se obtuvo un modelo de invernadero controlado económico, y que consiste en una estructura que recibe el calor del sol.

Como en la zona de estudio el clima es frío y seco se agregó:

- Un sistema de calefacción con tuberías de agua caliente hecho a base de un calentador.
- Un sistema de ventiladores refrigerantes para altas temperaturas.

Todos estos sistemas son leídos con sensores, controlados y automatizados por un PLC S7-200 con CPU 224.

Parámetro humedad a controlar

Se cuenta con un sensor de humedad HS1101 mide la humedad relativa del ambiente en el interior del invernadero, una Bomba (electroválvula) y un sistema de humidificación, encargados de humidificar el ambiente interior.

Control de humedad

La humedad es una variable climática a controlar en el interior del invernadero. Se dispone de un sensor analógico encargado de captar la humedad ambiente relativa del invernadero. Los sensores analógicos proporciona valores entre 0 y 10 V que se corresponden con una humedad relativa entre 0 y 100%. Se configura la humedad ambiente relativa deseada en el interior del invernadero indicando los valores de humedad óptima y variación sobre la misma. El exceso de humedad provoca la puesta en marcha de actuadores encargados de deshumidificar el aire. El defecto de humedad podrá en marcha el sistema de humidificadores formado por nebulizadores situados en el invernadero.

El diagrama de control de humedad se muestra en la siguiente figura 4.1.

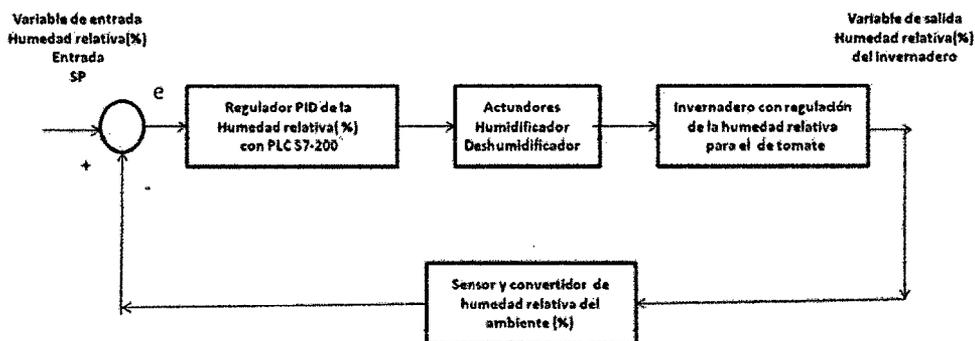


Figura1. Diagrama de control de la humedad.

Cuando el sensor de humedad mide menos del rango diseñado se activa el humidificador, y si es mayor se activa el deshumidificador controlando así los excesos, complementando esto con el sistema de ventilación que se muestra en el esquema de la figura 2.

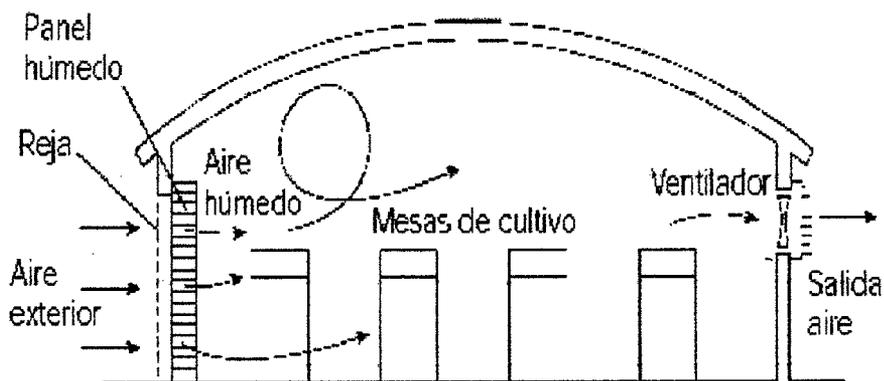


Figura 2. Funcionamiento del ventilador accionado por los sensores de humedad.

Sensor de Humedad



Figura 3 -Sensor de humedad HS1101.

El sensor de humedad relativa HS1101 mide la humedad relativa %HR proporcionando el voltaje de salida cuando existe cambios de la humedad relativa en el interior del invernadero.

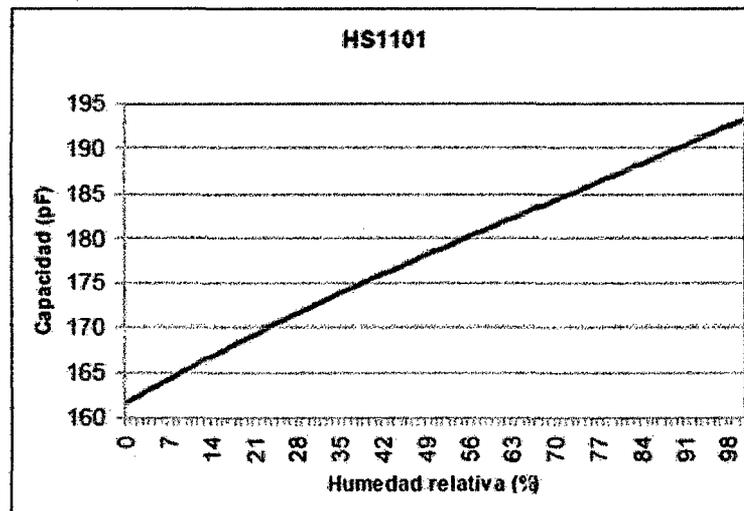


Fig. 4 rangos de operación del sensor de humedad HS1101.

Resultados

- El control de humedad con el PLC S7 200 en el invernadero ofrece mayor productividad dentro del invernadero.
- Garantía de tener una producción de calidad debido a tener un mayor control de la humedad que es un factor climático adverso al cultivo (heladas, granizo, sequías, excesos de viento).
- Cultivar y producir tomate fuera de época.
- Tener más oportunidad de comercializar cultivos de tomate de alta calidad en un mercado competitivo.
- En la fase experimental de este módulo se han obtenido resultados preliminares satisfactorios en las siguientes condiciones de microclima: humedad relativa de 60% y 11 horas de luz diarias.

CONCLUSIONES

- El sistema de control con PLC S7 200 y CPU 224 de la humedad relativa en un invernadero para cultivar tomate en la zona de estudio es un proceso muy poco aplicado debido a que la mayor parte del control se realiza manualmente.
- Se logra un ahorro de tiempo y coste económico al agricultor/propietario del invernadero en el proceso de control de la humedad del cultivo de tomate debido a que este proceso es automático.
- Es necesario calibrar todos los sensores de humedad antes de ser leídos por el PLC, debido a que por medio de estos se logra el control de la humedad relativa, calefacción y ventilación.

AGRADECIMIENTO

Al Ingeniero Electrónico Carlos Abel Galván Maldonado, Catedrático de postgrado de la Facultad de Electrónica – Sistemas de la Universidad Nacional de Huancavelica por darme el estímulo a realizar investigaciones sobre este tema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Carrillo DA, Vázquez JL, Villela R, Beltrán A, Reyes C, Reyes ME. Control del clima de un invernadero. Mexico: Universidad Autónoma de Zacatecas; 2008.
- [2] Valencia EJ. Interfaz de software entre un computador personal y un PLC mediante un driver de comunicación y su aplicación al control y monitoreo de un invernadero. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional; 1999.
- [3] Carrillo DA, Vázquez JL. Automatización de un invernadero con el PLC S7-200. México: Universidad Autónoma de Zacatecas; 2008.
- [4] Macías SP, Intriago CI. Construcción de un prototipo para un invernadero. Ecuador: Universidad Laica "Eloy Alfaro"; 2007.
- [5] López LA. Diseño de un sistema de control de temperatura on/off para aplicaciones en invernadero utilizando energía solar y gas natural. Perú: Pontificia Universidad Católica; 2008.
- [6] Hernández M. Automatización de microclima en invernadero. México: Instituto Tecnológico de estudios superior de Monterrey; 2007.

- [7] Melich B. Automatización de un invernadero. España: Universitat Rovira I Virgili; 2011.
- [8] Díaz HO, Solano OF. Diseño y simulación del control climático para un invernadero y base de datos de registro. Colombia: Universidad De La Salle; 2006.
- [9] Quinaluisa KJ, Remache LF. Aplicación del PLC S7 – 200 CPU 224 en la automatización de máquinas eléctricas. Ecuador: Escuela Politécnica del Ejercito; 2008.
- [10] Miranda JF. Aplicación de los algoritmos PID a un controlador lógico programable. Costa Rica: Universidad Costa Rica; 2004.
- [11] Smith CA, Corripio AB. Control automático de procesos, teoría y práctica. México: Limusa Noriega Editores; 2000.
- [12] Del Carmen AM, Hernández CV. Control PID de la velocidad de una banda transportadora para la clasificación de objetos. México: Universidad Autónoma de Zacatecas; 2008.
- [13] Mesa P. Implementación de un PLC en un sistema de regulación PID para el control de procesos de nivel, presión, temperatura y velocidad. Venezuela: Universidad Central de Venezuela; 2004.
- [14] Muñoz JA, Núñez DA. Automatismo de invernadero en clima templado. Colombia: Universidad San Buenaventura; 2012.
- [15] Lluesma Juan Javier. Monitor remoto de temperatura y humedad. España: Universidad Politécnica de Valencia; 2011.
- [16] Delgado JC, Montoya J, Sandoval OA. Control de temperatura con el PLC S7-200. México: Universidad Autónoma de Zacatecas; 2007.
- [17] Sistema de control automático para monitorear y controlar el ambiente al interior de un invernadero. Juan Pablo Múnera-Campuzano. Venezuela: Universidad Pontificia Bolivariana; 2012.

Autores:

Godofredo Aliaga Mendoza y Pedro Rogelio Quispe Bolaños

ANEXOS

Regulación PID proporcional/integral/derivativa

La operación Regulación PID (PID) ejecuta el cálculo de un lazo de regulación PID en el LOOP referenciado, conforme a la información de entrada y configuración definida en TABLE (TBL).

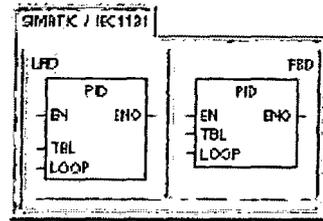
Condiciones de error que ponen ENO a 0:

- SM1.1 (desbordamiento)
- 0006 (dirección indirecta)

Marcas especiales afectadas:

- SM1.1 (desbordamiento)

La operación PID (lazo de regulación con acción proporcional, integral, derivativa) sirve para ejecutar el cálculo PID. Para habilitar el cálculo PID, el primer nivel de la pila lógica (TOS) debe estar ON (circulación de corriente). Esta operación tiene dos operandos: una dirección TABLE que constituye la dirección inicial de la tabla del lazo y un número LOOP que es una constante comprendida entre 0 y 7.



Un programa sólo admite ocho operaciones PID. Si se utilizan dos o más operaciones PID con el mismo número de lazo (aunque tengan diferentes direcciones de tabla), los dos cálculos PID se interferirán mutuamente siendo impredecible el resultado.

La tabla del lazo almacena nueve parámetros que sirven para controlar y supervisar la operación del mismo. Incluye el valor actual y previo de la variable de proceso (valor real), la consigna, la salida o magnitud manipulada, la ganancia, el tiempo de muestreo, el tiempo de acción integral, el tiempo de acción derivativa y la suma integral (bias).

Para poder realizar el cálculo PID con el intervalo de muestreo deseado, la operación PID debe ejecutarse bien dentro de una rutina de interrupción temporizada, o bien desde el programa principal, a intervalos controlados por un temporizador. El tiempo de muestreo debe definirse en calidad de entrada para la operación PID a través de la tabla del lazo.

La función de autosintonía se ha agregado a la operación PID. En el capítulo 15 encontrará una descripción detallada de esta función. El Panel de sintonía PID sólo funciona con los lazos PID creados con el Asistente PID.

Tabla 6-43 Operandos válidos para la operación Regulación PID

Entradas/salidas	Tipos de datos	Operandos
TBL	BYTE	VB
LOOP	BYTE	Constante (0 a 7)



Asistente de operaciones

STEP 7-Micro/WIN ofrece el asistente PID que ayuda a definir un algoritmo PID para un proceso de control de bucle cerrado. Elija el comando de menú Herramientas > Asistente de operaciones y seleccione PID en la ventana del asistente.



Consejo

La consigna de los límites inferior y superior debería corresponder a los límites inferior y superior de la variable de proceso.

Algoritmo PID

En modo estacionario, un regulador PID varía el valor de su salida para llevar a cero el error de regulación (e). El error es la diferencia entre el valor de consigna (SP) (el punto de trabajo deseado) y la variable de proceso (PV) (el punto de trabajo real). El principio de una regulación PID se basa en la ecuación indicada a continuación que expresa la salida M(t) como una función de un término proporcional, uno integral y uno derivativo:

$$\text{Salida} = \text{término proporcional} + \text{término integral} + \text{término derivativo}$$

$$M(t) = K_C \cdot e + K_C \int_0^t e \, dt + M_{\text{inicial}} + K_D \cdot de/dt$$

donde: $M(t)$ es la salida del lazo en función del tiempo
 K_C es la ganancia del lazo
 e es el error de regulación (diferencia entre la consigna y la variable de proceso)
 M_{inicial} es el valor inicial de la salida del lazo

Para poder implementar esta función de regulación en un sistema digital, la función continua debe cuantificarse mediante muestreos periódicos del valor del error, calculándose seguidamente el valor de la salida. La ecuación que constituye la base de la solución en un sistema digital es:

$$M_n = K_C \cdot e_n + K_I \cdot \sum_1^n e_x + M_{\text{inicial}} + K_D \cdot (e_n - e_{n-1})$$

Salida = término proporcional + término integral + término derivativo

donde: M_n es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-ésimo
 K_C es la ganancia del lazo
 e_n es el valor del error del lazo en el muestreo n-ésimo
 e_{n-1} es el valor previo del error de regulación (en el muestreo (n-1)-ésimo)
 e_x es el valor del error de regulación en el muestreo x
 K_I es la constante proporcional del término integral
 M_{inicial} es el valor inicial de la salida del lazo
 K_D es la constante proporcional del término derivativo

Para esta ecuación, el término integral se muestra en función de todos los términos del error, desde el primer muestreo hasta el muestreo actual. El término derivativo es una función del muestreo actual y del muestreo previo; mientras que el término proporcional sólo es función del muestreo actual. En un sistema digital no es práctico almacenar todos los muestreos del término del error, además de no ser necesario.

Puesto que un sistema digital debe calcular el valor de salida cada vez que se muestre el error, comenzando en el primer muestreo, basta con almacenar el valor previo del error y el valor previo del término integral. Debido a la naturaleza repetitiva de la solución basada en un sistema digital, es posible simplificar la ecuación a resolver en cada muestreo. La ecuación simplificada es:

$$M_n = K_C \cdot e_n + K_I \cdot e_n + MX + K_D \cdot (e_n - e_{n-1})$$

Salida = término proporcional + término integral + término derivativo

donde: M_n es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-ésimo
 K_C es la ganancia del lazo
 e_n es el valor del error del lazo en el muestreo n-ésimo
 e_{n-1} es el valor previo del error de regulación (en el muestreo (n-1)-ésimo)
 K_I es la constante proporcional del término integral
 MX es el valor previo del término integral (en el muestreo (n-1)-ésimo)
 K_D es la constante proporcional del término derivativo

Para calcular el valor de salida del lazo, el S7-200 utiliza una forma modificada de la ecuación simplificada anterior. Esta ecuación modificada equivale a:

$$M_n = MP_n + MI_n + MD_n$$

Salida = término proporcional + término integral + término derivativo

donde: M_n es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-ésimo
 MP_n es el valor del término proporcional de salida del lazo en el muestreo n-ésimo
 MI_n es el valor del término integral de salida del lazo en el muestreo n-ésimo
 MD_n es el valor del término derivativo de salida del lazo en el muestreo n-ésimo

Término proporcional de la ecuación PID

El término proporcional MP es el producto de la ganancia (K_C), la cual controla la sensibilidad del cálculo de la salida, y del error (e), que es la diferencia entre el valor de consigna (SP) y el valor real o de la variable de proceso (PV) para un instante de muestreo determinado. La ecuación que representa el término proporcional según la resuelve el S7-200 es la siguiente:

$$MP_n = K_C * (SP_n - PV_n)$$

donde: MP_n es el valor del término proporcional de salida del lazo en el muestreo n-ésimo
 K_C es la ganancia del lazo
 SP_n es el valor de la consigna en el muestreo n-ésimo
 PV_n es el valor de la variable de proceso en el muestreo n-ésimo

Término integral de la ecuación PID

El término integral MI es proporcional a la suma del error a lo largo del tiempo. La ecuación que representa el término integral según la resuelve el S7-200 es la siguiente:

$$MI_n = K_C * T_S / T_I * (SP_n - PV_n) + MX$$

donde: MI_n es el valor del término integral de salida del lazo en el muestreo n-ésimo
 K_C es la ganancia del lazo
 T_S es el tiempo de muestreo del lazo
 T_I es el periodo de integración del lazo (también llamado tiempo de acción integral)
 SP_n es el valor de la consigna en el muestreo n-ésimo
 PV_n es el valor de la variable de proceso en el muestreo n-ésimo
 MX es el valor del término integral en el muestreo (n-1)-ésimo (también llamado suma integral o "bias")

La suma integral o bias (MX) es la suma acumulada de todos los valores previos del término integral. Después de cada cálculo de MI_n se actualiza la suma integral con el valor de MI_n que puede ajustarse o limitarse (para más información, consulte la sección "Variables y rangos"). Por regla general, el valor inicial de la suma integral se ajusta al valor de salida ($M_{inicial}$) justo antes de calcular la primera salida del lazo. El término integral incluye también varias constantes tales como la ganancia (K_C), el tiempo de muestreo (T_S), que define el intervalo con que se recalcula periódicamente el valor de salida del lazo PID, y el tiempo de acción integral (T_I), que es un tiempo utilizado para controlar la influencia del término integral en el cálculo de la salida.

Término derivativo de la ecuación PID

El término derivativo MD es proporcional a la tasa de cambio del error. El S7-200 utiliza la ecuación siguiente para el término derivativo:

$$MD_n = K_C \cdot T_D / T_S \cdot ((SP_n - PV_n) - (SP_{n-1} - PV_{n-1}))$$

Para evitar cambios o saltos bruscos de la salida debidos a cambios de la acción derivativa o de la consigna, se ha modificado esta ecuación bajo la hipótesis de que la consigna es constante ($SP_n = SP_{n-1}$). En consecuencia, se calcula el cambio en la variable de proceso en lugar del cambio en el error, como puede verse a continuación:

$$MD_n = K_C \cdot T_D / T_S \cdot (SP_n - PV_n - SP_n + PV_{n-1})$$

o simplificando:

$$MD_n = K_C \cdot T_D / T_S \cdot (PV_{n-1} - PV_n)$$

- dónde:
- MD_n es el valor del término derivativo de la salida del lazo en el muestreo n-ésimo
 - K_C es la ganancia del lazo
 - T_S es el tiempo de muestreo del lazo
 - T_D es el periodo de diferenciación de lazo (también llamado tiempo de acción derivativa)
 - SP_n es el valor de la consigna en el muestreo n-ésimo
 - SP_{n-1} es el valor de la consigna en el muestreo (n-1)-ésimo
 - PV_n es el valor de la variable de proceso en el muestreo n-ésimo
 - PV_{n-1} es el valor de la variable de proceso en el muestreo (n-1)-ésimo

En lugar del error es necesario guardar la variable de proceso para usarla en el próximo cálculo del término derivativo. En el instante del primer muestreo, el valor de PV_{n-1} se inicializa a un valor igual a PV_n .

Seleccionar el tipo de regulación

En numerosos sistemas de regulación basta con utilizar una o dos acciones de regulación. Así, por ejemplo, puede requerirse únicamente regulación proporcional o regulación proporcional e integral. El tipo de regulación se selecciona ajustando correspondientemente los valores de los parámetros constantes.

Por tanto, si no se desea acción integral (sin "I" en el cálculo PID), entonces el tiempo de acción integral debe ajustarse a infinito ("INF"). Incluso sin acción integral, es posible que el valor del término integral no sea "0", debido a que la suma integral MX puede tener un valor inicial.

Si no se desea acción derivativa (sin "D" en el cálculo PID), entonces el tiempo de acción derivativa debe ajustarse a 0.0.

Si no se desea acción proporcional (sin "P" en el cálculo PID) y se desea regulación I o ID, entonces la ganancia debe ajustarse a 0.0. Puesto que la ganancia interviene en las ecuaciones para calcular los términos integral y derivativo, si se ajusta a 0.0 resulta un valor de 1.0, que es el utilizado para calcular los términos integral y derivativo.

Convertir y normalizar las entradas del lazo

El lazo tiene dos variables o magnitudes de entrada, a saber: la consigna y la variable de proceso. La consigna es generalmente un valor fijo (p. ej. el ajuste de velocidad en el ordenador de abordo de un automóvil). La variable de proceso es una magnitud relacionada con la salida del lazo y que mide por ello el efecto que tiene la misma sobre el sistema regulado. En el ejemplo del ordenador de abordo, la variable de proceso sería la entrada al tacómetro que es una señal proporcional a la velocidad de giro de las ruedas.



TECHNICAL 1 DATA

RELATIVE HUMIDITY SENSOR HS1100LF / HS1101LF
Meets RoHS regulations

Based on a unique capacitive cell, these relative humidity sensors are designed for high volume, cost sensitive applications such as office automation, automotive cabin air control, home appliances, and industrial process control systems. They are also useful in all applications where humidity compensation is needed.

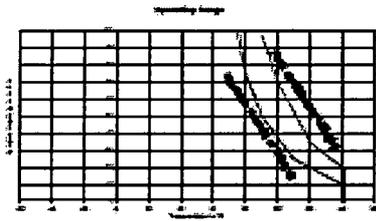
MAIN FEATURES

- ☑ Lead free components
 - ☑ Full interchangeability with no calibration required in standard conditions
 - ☑ Instantaneous desaturation after long periods in saturation phase
 - ☑ Compatible with automated assembly processes, including Pb free wave soldering and reflow processes (1)
 - ☑ High reliability and long term stability
 - ☑ Patented solid polymer structure
 - ☑ Suitable for linear voltage or frequency output circuitry
 - ☑ Fast response time and very low temperature coefficient
 - ☑ Part may be washed with distilled water
 - ☑ Individual marking for compliance in stringent traceability requirements
- (1) Soldering temperature profiles available on request / contact us at applications@humirel.com



MAXIMUM RATINGS

Parameter	Symbol	Value	Unit
Operating Temperature	Ta	-60 to 140	°C
Storage Temperature	Tstg	-60 to 140	°C
Supply Voltage (Pack)	Vs	10	Vdc
Humidity Operating Range	RH	0 to 100	% RH



CHARACTERISTICS

Humidity sensor (Ta = 25°C, measurement frequency @ 10kHz / 1V unless otherwise noted)

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Humidity measuring range	RH	1	99	100	%RH
Supply voltage	Vs		10		V
Nominal capacitance @ 55% RH*	C	177	180	183	pF
Temperature coefficient	Tcc		0.01		pF/°C
Averaged Sensitivity from 32% to 75% RH	ΔC / % RH		0.31		pF/% RH
Leakage current (Voc = 5 Volts)	I		1		nA
Recovery time after 150 hours of condensation	tr		10		s
Humidity Hysteresis			+/-1		%RH
Long term stability			+/-0.5		%RH/yr
Time constant (33 to 80% RH, still air @ 63%)	ts		3	5	s
Deviation to typical response curve (10% to 90%) RH			+/-2		%RH

* Higher specifications available on request



TYPICAL RESPONSE: look-up table (Polynomial Reference curve)

Polynomial response of HS1100LF/HS1101LF:

$$C \text{ (pF)} = C@55\% * (3.903 \cdot 10^{-4} RH^2 - 8.294 \cdot 10^{-4} RH^2 + 2.188 \cdot 10^{-3} RH + 0.898)$$

Typical response look-up table (Polynomial Reference curve) *10KHz/1V*

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
C _p (pF)	161.6	163.6	165.4	167.2	169.0	170.7	172.3	173.9	175.5	177.0	178.5
	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
C _p (pF)	180	181.4	182.9	184.3	185.7	187.2	188.6	190.1	191.6	193.1	

Reversed Polynomial response of HS1100LF/HS1101LF:

$$RH (\%) = -3.4656 \cdot 10^{-3} X^3 + 1.0732 \cdot 10^{-4} X^2 - 1.0457 \cdot 10^{-4} X + 3.2459 \cdot 10^{-3}$$

With X=C(meas)/C@55% RH

MEASUREMENT FREQUENCY INFLUENCE

In this data sheet, all capacitance measurements are done @ 10 KHz /1Volt. However, the sensor can operate without restriction from 5 KHz to 200 KHz.

POLARIZATION

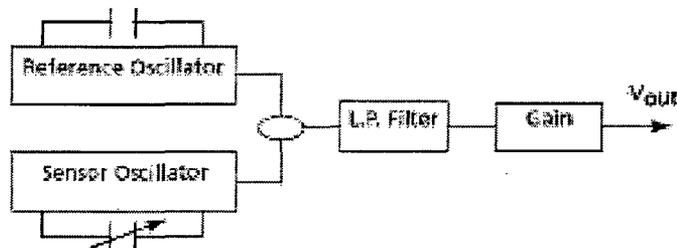
In order to get a better reproducibility during measurements, always connect the case of the header (pin 2) to the ground of the circuit. The case of the header is located on the opposite side of the tab.

SOLDERING INSTRUCTIONS

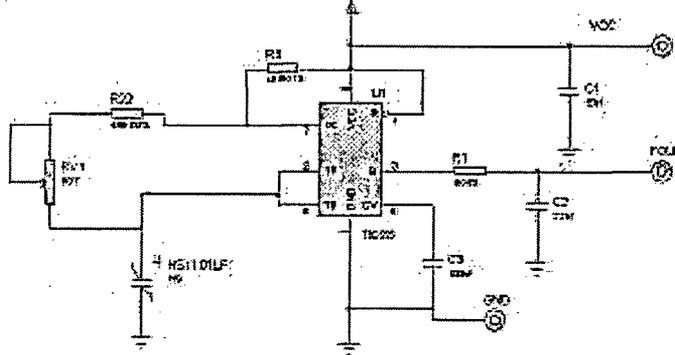
We recommend to take specific attention to soldering conditions to get the best performance of Humirel sensors. See Application Note. To get it, please contact application@humirel.com.

PROPORTIONAL VOLTAGE OUTPUT CIRCUIT

Block diagram



FREQUENCY OUTPUT CIRCUITS



Note: R22=499k / R4=39.9k / R1=1 k / RVT=50 k potentiometer / C1=10nF / C2=2.2nF / C3=100nF

This circuit is the typical variable design for 555. The HSE1002AFMS11011F, used as variable capacitor, is connected in the TRNG and TRRES pin. Pin 7 is used as a short circuit pin for resistor R4. The HSE1002AFMS11011F equivalent capacitor is charged through R22 and R4 to the threshold voltage (approximately 0.67Vcc) and discharged through R22 only to the trigger level (approximately 0.33Vcc) since R4 is shorted to ground by pin 7.

- Since the charge and discharge of the sensor run through different resistors, R22 and R4, the duty cycle is determined by:
- > $t_{high} = C \ln 2 \times R_H \times (R_{22} + R_4) \ln 2$
 - > $t_{low} = C \ln 2 \times R_H \times R_{22} \ln 2$
 - > $F = 1 / (t_{high} + t_{low}) = 1 / (C \ln 2 \times R_H \times (R_4 + 2 \times R_{22}) \ln 2)$
 - > Output duty cycle = $t_{high} \times F = R_{22} / (R_4 + 2 \times R_{22})$

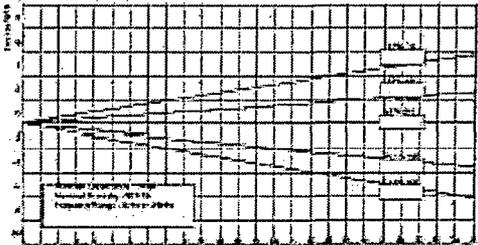
To provide an output duty cycle close to 50%, R4 should be very low compared to R22 but never under a minimum value. Resistor R3 is a short circuit protection. 555 must be a CMOS version.

Typical response look-up table

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
F _{out} [Hz]			7155	7080	7010	6945	6880	6820	6760	6705	6650
	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
F _{out} [Hz]	6600	6550	6500	6450	6400	6355	6305	6260	6210		

Measurement Error vs Stray Capacitance

Special attention is required in order to minimize stray capacitance in the layout. The added capacitance will act as a parallel capacitance with the sensor and create a measurement error.
A careful evaluation of PCB and components must be implemented to prevent unexpected deviations of F_{out} in high humidity conditions.





TECHNICAL 4 DATA

QUALIFICATION PROCESS

HS1100LF/HS1101LF sensors have been qualified through a complete qualification process taking in account many of the requirements of the JEDEC standards including:

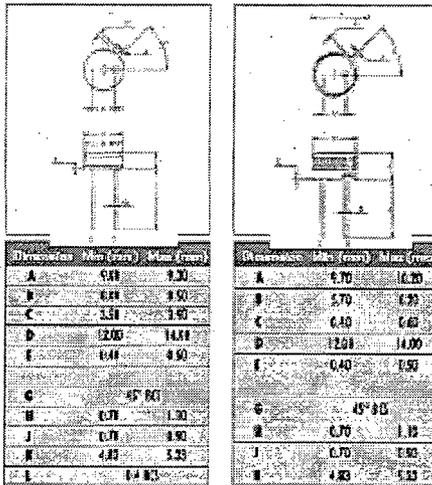
- Solder heat and solderability including lead free process.
- Pb free wave soldering and reflow soldering process(260°C) + DI water clean at 45°C
- Mechanical shock JESD-22-B104-A
- Vibrations - Variable frequency(20 to 2000Hz) JESD-22-B103-A
- Marking permanency
- ESD - Electrostatic Discharge -Air Gun +- 15kV(IEC 1090)
- Salt Atmosphere JESD22-A103-A
- Temperature Cycling - 40°C / +125°C
- High Temperature / Humidity Operating Life - 93%RH / 60°C for 1000 hours
- Low Humidity storage life - RH < 10%/23°C - 1600 hours
- Resistance to immersion in water at ambient temperature and 90°C
- High temperature storage 140°C for 168 hours.
- Resistance to many chemicals linked to home appliances/resistive or consumer applications.

ENVIRONMENTAL AND RECYCLING

HS1100LF/HS1101LF sensors are lead free components and are compatible with Pb Free soldering processes.HS1100LF/HS1101LF sensors are free from Cr (6+), Cd and Hg.

PACKAGE OUTLINE

Dimensions in millimeters



To distinguish HS1101LF from HS1100, HS1101LF is designed with a black plastic cap

ORDERING INFORMATION:

HS1101LF: HPP801A031 (MULTIPLE PACKAGE QUANTITY OF 48 PIECES)
 HS1100LF: HPP800A031 (MULTIPLE PACKAGE QUANTITY OF 50 PIECES)
 CAPACITIVE RELATIVE HUMIDITY SENSOR.

Humirel is a registered trademark of Humirel. All other trademarks are the property of their respective owners. Humirel is not responsible for any errors or omissions in this document. The information in this document is subject to change without notice. © Humirel 2004.

IMÁGENES

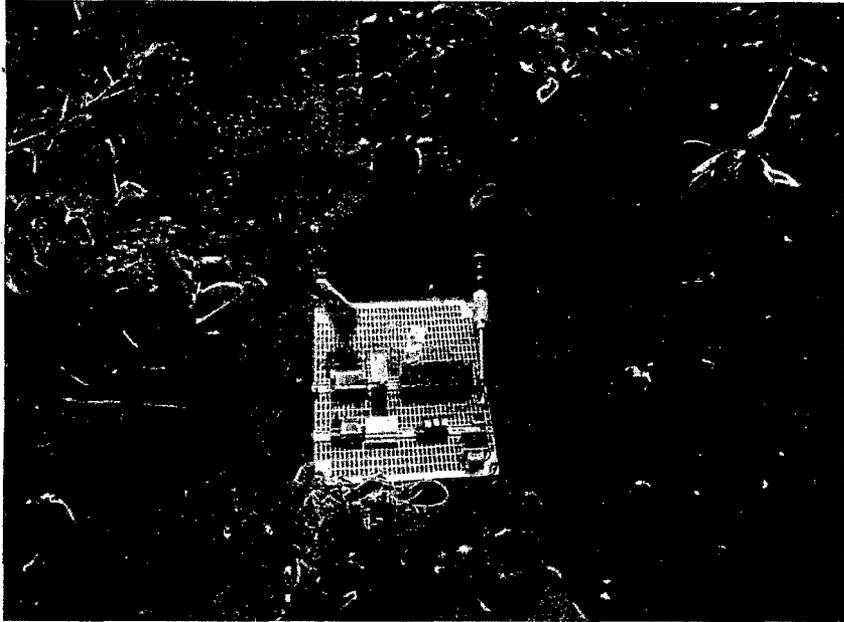


Imagen 1. Invernadero con microclima



Imagen 2. Invernadero controlado



Imagen 3. Estructura del invernadero piloto



Imagen 4. Cultivo del tomate en microclima

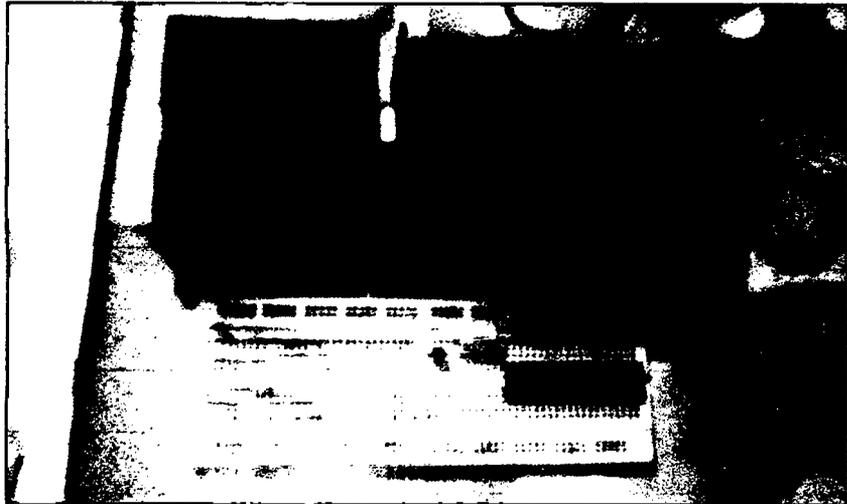


Imagen 5. Sensor de humedad y el PLC Siemens S7- 200



Imagen 6. Circuito del invernadero en laboratorio EAPE

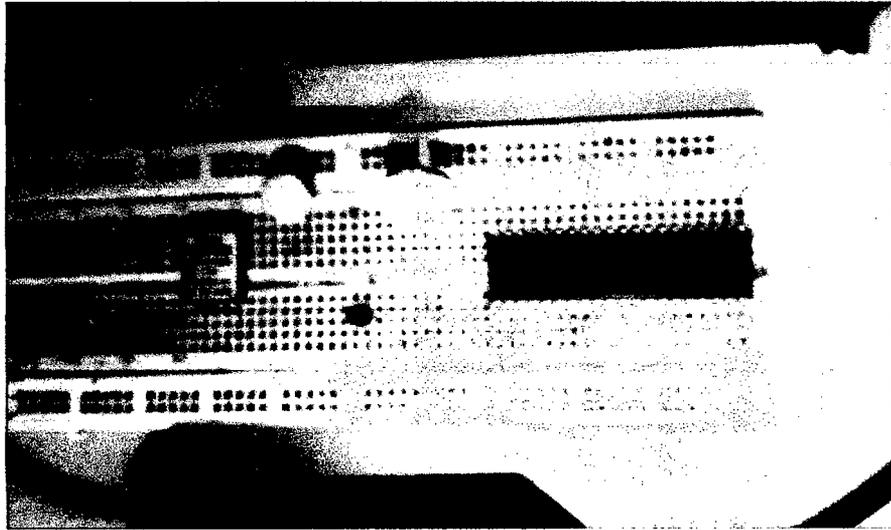


Figura 7. Sensores de humedad relativa

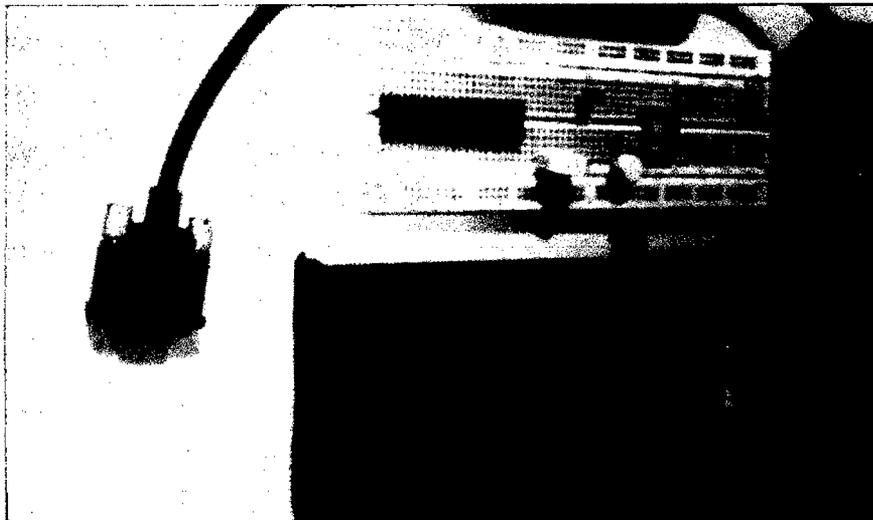


Figura 8. Controlador PLC y su módulo de ampliación



Figura 9. Prueba del programa de control

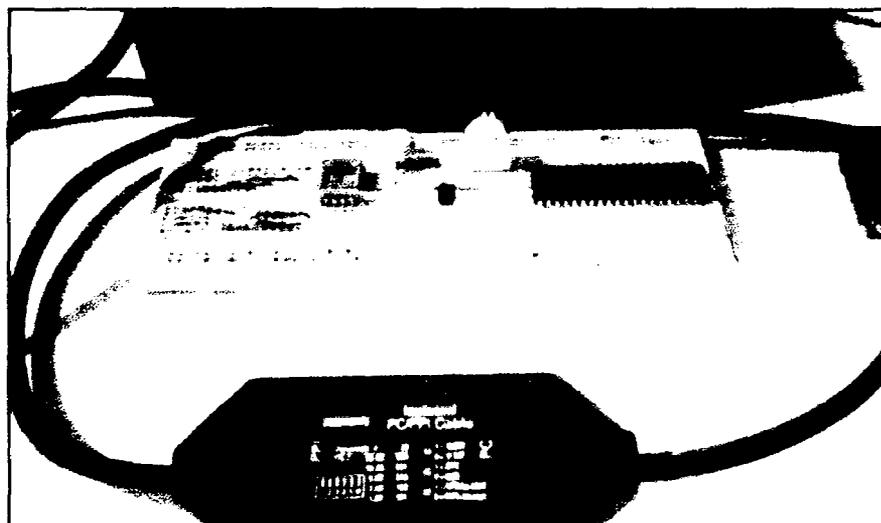


Figura 10. Estructura del controlador de humedad relativa