

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA
DEL ECUADOR**

SEDE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE SISTEMAS

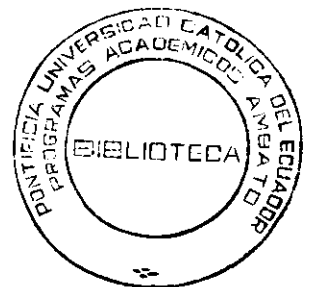
**DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN SISTEMAS**

**“Control Automático de Procesos
Aplicado a Invernaderos”**

**Michita Lana Vélez
Jenny Sánchez Viera**

**Directora de Disertación:
Ing. Ms.C. Roxana Meriño**

Ambato 1999



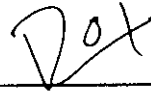
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA
DEL ECUADOR
SEDE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE SISTEMAS

DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN SISTEMAS

“Control Automático de Procesos
Aplicado a Invernaderos”

Directora de Tesis:



Ing. Ms.C. Roxana Meriño

Revisores:



Ing. Ms.C. Wigberto Sánchez



Ing. David Guevara

Nombres:

Michita Lana Vélez
Jenny Sánchez Viera

Ambato – 1999

Dedicatoria

La presente tesis la dedico a mis padres por su apoyo, motivación y ejemplo en conseguir con esfuerzo una meta trazada.

A mi esposo y a mi hijo por su comprensión y ayuda permanente en mi realización profesional.

A mis hermanos que siempre han estado presentes en los momentos importantes de mi vida.

Michita Lana

Dedicatoria

La presente tesis que es el resultado de esfuerzo y dedicación quiero dedicarle a mis padres por ser ejemplo de sacrificio, constancia y amor.

A mi hermana por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles e importantes de mi vida, a quien espero que este trabajo sirva de motivación en su vida estudiantil.

Finalmente, a una persona muy importante en mi vida, Byron, quien ha estado apoyándome permanentemente para la culminación de mi carrera profesional.

Jenny Sánchez

Agradecimiento

Agradecemos a Dios y a nuestros padres por permanecer junto a nosotros y apoyarnos en la culminación de nuestra carrera.

Nuestro reconocimiento a todos quienes de una u otra forma contribuyeron para la realización de esta tesis, en especial a la Ing. Ms.C. Roxana Meriño, Ing. Ms.C. Wigberto Sánchez e Ing. David Guevara por su valioso aporte y dirección.

Dejamos constancia de un profundo agradecimiento a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato, cuyo objetivo ha sido siempre el formar profesionales de calidad para contribuir al desarrollo y engrandecimiento del país.

*Michita Lana
Jenny Sánchez*

INDICE

Introducción.....	i
CAPITULO I.....	1
Estudio del Control Automático de Procesos	1
Señales de Transmisión.....	4
Sensores y Transmisores.....	5
Controladores	6
Elementos Finales de Control.....	7
Estrategias de Control.....	10
Control Por Retroalimentación.....	10
Control Por Acción Precalculada.....	15
Matemática de Laplace.....	17
Estudio del Entorno del Invernadero.....	24
Estructuras de Protección.....	26
Localización y Emplazamiento.....	29
Factores Ambientales.....	30
Acondicionamiento y Climatización.....	32
CAPITULO II : Estudio Preliminar.....	35
Determinación de los Intereses del Usuario.....	35
Responsabilidades.....	36

CAPITULO III : Análisis.....	37
Definición de las Clases y Atributos.....	37
Guiones.....	38
Grafo de Control.....	38
Definición de las Responsabilidades	
Y Atributos de Cada Clase.....	39
Definición de las Colaboraciones.....	39
Definición de las Relaciones Entre Clases	40
Definiciones de Clases.....	41
Definiciones de Relaciones.....	43
 CAPITULO IV : Diseño.....	 44
Refinamiento Del Análisis.....	44
Diagramas De Clases	46
Diccionario De Clases.....	47
Refinamiento De La Jerarquía.....	48
Diagrama De Transición De Estados.....	48
 CAPITULO V : Implementación.....	 53
Características del Lenguaje de Programación Delphi 3.0.....	53
Características del Sistema.....	55
Estudio de la Interfaz Electrónica utilizada en el Sistema.....	57
 Anexos.....	 62
Conclusiones y Recomendaciones.....	65
Bibliografía.....	66.

INTRODUCCION

Estamos precisamente en la era de la información, y quien reconoce ésto sabe que es una fuerza que impulsa la economía. De hecho, la casi totalidad de las empresas en el mundo ha mecanizado sus procesos con el fin de mejorar su producción. Sin embargo, la computadora, es hoy por hoy, incapaz de hacer algo para lo que no ha sido programada. A pesar de aquello, el progreso que representa el que un aparato tenga la capacidad de realizar tareas mecánicas supone ya un salto cualitativo extraordinario.

El presente proyecto, trata entonces, de proporcionar un aporte significativo al área de automatización de procesos, para lo cual hemos tomado como ejemplo de aplicación, los invernaderos. Es así que el primer capítulo contiene dos partes. La primera realiza un estudio del Control Automático de Procesos con el fin de conocer los principios básicos de la teoría de control, pues primero es necesario entender un proceso para entonces controlarlo.

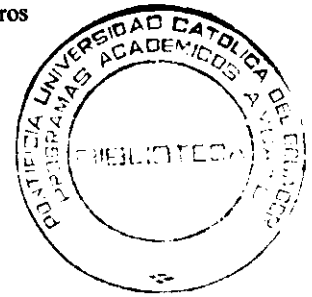
La segunda parte de este capítulo, estudia el Entorno del Invernadero. Esta sección proporciona conceptos y nociones básicas sobre su construcción, procesos y variables que se controlan y los mecanismos necesarios para hacerlo.

El Segundo Capítulo se refiere al estudio preliminar del proyecto, en el que se analiza los intereses del agricultor, es decir, lo que considera necesario controlar en la

automatización de los procesos en un invernadero. A continuación, se realiza un análisis de lo que se debería hacer una vez identificadas las necesidades.

Los capítulos Tres y Cuatro, realizan el Análisis y Diseño Orientado a Objetos correspondiente al sistema que controlará automáticamente los procesos en el invernadero. Básicamente se controlan las variables de temperatura y humedad.

Por último, el Capítulo Seis se refiere a la Implementación, en el que se analiza y estudia las características básicas del lenguaje de programación Delphi versión 3, las herramientas utilizadas y el funcionamiento mismo del sistema. También describe la interfaz electrónica que se ha diseñado para lograr el control automático de las variables de temperatura y humedad en el invernadero y activar los cuatro elementos finales: ventoleras, ventiladores, lámparas y electroválvulas.



CAPITULO I

1. ESTUDIO DEL CONTROL AUTOMATICO DE PROCESOS

En la mayoría de las plantas de proceso existen cientos de variables, las mismas que deben mantenerse en algún valor determinado siendo necesario llevar a cabo algún procedimiento para corregir cualquier desviación. Esto supone trabajar con una gran cantidad de operarios por lo que es preferible realizar el control de manera automática, es decir, contar con instrumentos que controlen las variables sin necesidad de que intervenga el operador. Esto es lo que significa el *Control Automático de Procesos*.

Todos los procesos son de naturaleza dinámica, en ellos siempre ocurren cambios y si no se emprenden las acciones pertinentes, las variables importantes del proceso, es decir, aquellas que se relacionan con la seguridad, la calidad del producto y los índices de producción, no cumplirán con las condiciones de diseño.

Para lograr este objetivo se debe diseñar e implementar un sistema de control. Los componentes básicos de todo sistema de control son los siguientes:

1. *Sensor*, que también se conoce como el elemento primario.
2. *Transmisor*, el cual se conoce como elemento secundario.
3. *Controlador*, que es el “cerebro” del sistema de control
4. *Elemento final de Control*, frecuentemente se trata de una válvula de control aunque no siempre. Otros elementos finales de control comúnmente utilizados son: las bombas de velocidad variable, los transportadores y los motores eléctricos

La importancia de estos componentes estriba en que realizan las tres operaciones básicas que deben estar presentes en todo sistema de control, estas son:

1. *Medición (M)*: la medición de la variable que se controla se hace generalmente mediante la combinación de sensor y transmisor .
2. *Decisión (D)*: Con base en la medición, el controlador decide qué hacer para mantener la variable en el valor que se desea.
3. *Acción (A)*: como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una acción en el sistema, generalmente esta es realizada por el elemento final de control.

Estas tres operaciones son obligatorias para todo sistema de control. En algunos sistemas la toma de decisión es sencilla, mientras que en otros es más compleja.

En el caso concreto del sistema de control establecido en el invernadero, el primer paso es medir la temperatura de salida de la corriente del proceso, esto se hace mediante un *sensor* (termopar, dispositivo de resistencia térmica, termómetros de sistema lleno, termistores, etc.). El sensor se conecta físicamente al transmisor, el cual capta la salida del sensor y la convierte en una señal suficientemente intensa como para transmitirla al controlador (computador). El *controlador* recibe la señal, que está en relación con la temperatura, la compara con el valor que se desea y según el resultado de la comparación, decide que hacer para mantener la temperatura en el valor deseado. Con base en la decisión, el controlador envía otra señal al *elemento final de control* (ventiladores, ventoleras, válvulas de riego, lámparas). En la figura 1.1 se muestra un sistema de control y sus componentes básicos.

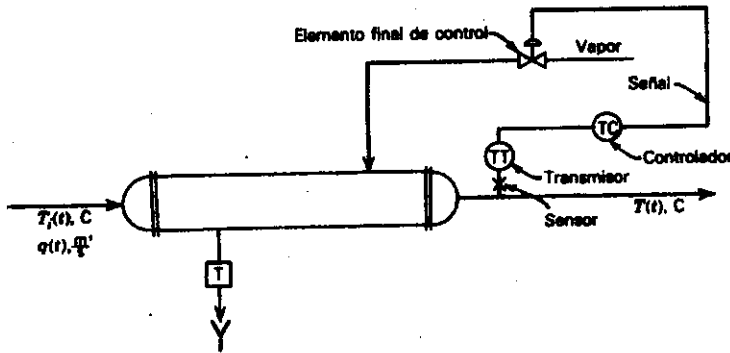


Fig 1.1

Es importante definir algunos términos que se usan en el campo del control automático de procesos. El primer término es *variable controlada*, esta es la variable que se debe mantener o controlar dentro de algún valor deseado. En nuestro caso las variables controladas son la temperatura y la humedad. El segundo término es el *punto de control*, el valor que se desea tenga la variable controlada. La *variable manipulada*, es la variable que se utiliza para mantener a la variable controlada en el punto de control (punto de fijación o de régimen), es decir, elementos finales de control. Finalmente, cualquier variable que ocasiona que la variable de control se desvíe del punto de control se define como *perturbación o trastorno*, por ejemplo: la temperatura de entrada en el proceso, el flujo del proceso, las condiciones ambientales.

Aquí lo importante es comprender que en la industria de procesos estas perturbaciones son la causa más común de que se requiera el control automático de proceso; si no hubiera alteraciones, prevalecería las condiciones de operación del diseño y no se necesitaría supervisar continuamente el proceso.

El objetivo del sistema de control automático de proceso es utilizar la variable manipulada para mantener a la variable controlada en el punto de control a pesar de las perturbaciones.

Las razones por las cuales es importante mantener la variable controlada en el punto de control a pesar de las perturbaciones son producto de la experiencia industrial, tal vez no sean las únicas pero si las más importantes:

1. Evitar lesiones al personal de la planta o daño al equipo. La seguridad siempre debe estar en la mente de todos.
2. Mantener la calidad del producto (composición, pureza, color, etc.) en un nivel continuo y con un costo mínimo.
3. Mantener la tasa de producción de la planta al costo mínimo.

Por tanto, se puede decir, que las razones de la automatización de las plantas de proceso son proporcionar un entorno seguro y a la vez mantener la calidad deseada del producto y alta eficiencia de la planta con reducción de la demanda de trabajo humano.

1.1 SEÑALES DE TRANSMISIÓN.

Actualmente se usan tres tipos principales de señales para la comunicación entre los instrumentos de un sistema de control en la industria de procesos. La primera es la *señal neumática o presión de aire*, que normalmente abarca entre 3 y 15 Psig, con frecuencia se usan señales de 6 a 30 psig o de 3 a 27 psig; su representación usual en los diagramas de instrumentos y tubería (DI&T) (P&ID, por su nombre en inglés) es ----//-----//----- . La *señal eléctrica electrónica*, normalmente toma valores entre 4 y 20 mA; el uso de 10 a 50 mA, de 1 a 5V o de 0 a 10V es menos frecuente; la representación usual de esta señal en los DI&T es ----- . El tercer tipo de señal, el cual se está convirtiendo en el más común, es la señal digital y discreta (1 y 0); el uso de los sistemas de control de proceso con computadores grandes, minicomputadoras o microprocesadores está forzando el uso cada vez mayor de este tipo de señal.

Frecuentemente es necesario cambiar un tipo de señal por otro, esto se hace mediante un *transductor*, por ejemplo cuando se necesita cambiar de una señal eléctrica, mA, a una neumática, psig, se utiliza un transductor (I/P) que transforma la señal de corriente (I) en neumática (P), como se muestra en la figura 1.2

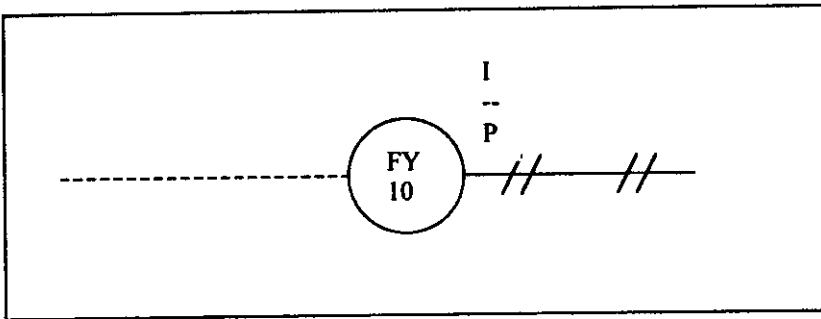


Fig. 1.2 Transductor I/P

1.2 sensores y transmisores

Con los sensores y transmisores se realizan las operaciones de medición en el sistema de control. En el sensor se produce un fenómeno mecánico, eléctrico o similar, el cual se relaciona con la variable de proceso que se mide; el transmisor, a su vez, convierte este fenómeno en una señal que se puede transmitir y, por lo tanto, ésta tiene relación con la variable del proceso.

Existen tres términos importantes que se relacionan con la combinación sensor / transmisor : *la escala, el rango y el cero* del instrumento. A la *escala* del instrumento la definen los valores superior e

inferior de la variable a medir del proceso; esto es, si se considera que un sensor / transmisor se calibra para medir la temperatura entre 20 y 50 grados centígrados de un proceso, se dice que la escala de la combinación sensor / transmisor es de 20 –50 grados centígrados. El *rango* del instrumento es la diferencia entre el valor superior y el inferior de la escala, para el instrumento citado aquí el rango es de 30 grados centígrados. En resumen, para definir la escala del instrumento se deben especificar un valor superior y otro inferior; es decir, es necesario, dar dos números; mientras que el rango es la diferencia entre los dos valores. El valor inferior de la escala se conoce como *cero* del instrumento, este valor no necesariamente debe ser cero para llamarlo así; en el ejemplo el “cero “ del instrumento es 20 grados centígrados.

1.3 CONTROLADOR

El controlador es el cerebro del circuito de control, es el dispositivo que toma la decisión (D) en el sistema de control y, para hacerlo el controlador:

1. Compara la señal del proceso que llega del sensor, la variable que se controla, contra el punto de control y,
2. Envía la señal apropiada a la válvula de control, o cualquier otro elemento final de control, para mantener la variable que se controla en el punto de control.

La acción del controlador se determina mediante un interruptor en el panel lateral de los controladores neumáticos o electrónicos, mediante un bit de configuración en la mayoría de los controladores que tienen como base un microprocesador.

Considerando como ejemplo el sistema de control para el invernadero, si las variables de control rebasan el punto de fijación, el controlador (computador) debe activar las válvulas de control (elementos finales de control) para que el nivel regrese al punto de control., para tomar esta decisión, el controlador se debe colocar en *acción directa o acción incremento*; es decir, cuando hay un incremento en la señal, que entra al controlador entonces existe un incremento en la señal de salida del mismo.

En el caso, de que el controlador deba desactivar las válvulas de control, debe realizar una *acción inversa*, o de *decremento*.

En resumen, para determinar la acción del controlador, se debe conocer:

1. Los requerimientos de control del proceso y,
2. La acción de la válvula de control u otro elemento final de control.

1.4 ELEMENTOS FINALES DE CONTROL

Las válvulas de control o elementos finales de control, manejan los flujos para mantener en el punto de control las variables que se deben controlar.

Las válvulas de control actúan como una *resistencia variable* en la línea de proceso; mediante el cambio de su apertura se modifica la resistencia al flujo , en consecuencia, el flujo mismo. Las válvulas de control no son más que reguladores de flujo.

Para ayudar a lograr un buen control, el circuito de control debe tener una “personalidad constante”, esto significa que en el proceso completo, el cual se define como la combinación de sensor / transmisor / unidad de proceso / válvula; la ganancia; las constantes de tiempo; y el tiempo muerto deben ser tan constantes como sea posible, entonces el proceso debería tener una “personalidad constante” un sistema *lineal*. Pero la mayoría de los casos son de naturaleza no lineal lo que hace que el sensor/ transmisor/ unidad de proceso/ tampoco sea lineal. Puesto que el “proceso completo” incluye la válvula, mediante la elección de la correcta “personalidad de la válvula de control” se puede lograr que se reduzcan las características no lineales de la combinación sensor / transmisor / unidad de proceso/; si esto se hace de manera correcta, se puede conseguir que la combinación sensor / transmisor / unidad de proceso / válvula tenga una ganancia constante.

La *personalidad de la válvula* de control se conoce comúnmente como la “característica de flujo de la válvula de control” y, por tanto, se puede decir que el propósito de la caracterización del flujo es obtener en el proceso completo una ganancia relativamente constante para la mayoría de las condiciones de operación del proceso.

La *característica de flujo de la válvula de control* se define como la relación entre el flujo a través de la válvula y la posición de la misma conforme varía la posición de 0% a 100%. Se debe distinguir entre la “característica de flujo inherente” y la “característica de flujo en instalación”. La primera se refiere a la característica que se observa cuando existe una caída de presión constante a través de la válvula. La segunda se refiere a la característica que se observa cuando la válvula está en servicio y hay variaciones en la caída de presión, así como otros cambios en el sistema.

posición de la válvula del 20 al 21%, el flujo se debe incrementar en 1% respecto al valor que tenía en la posición del 20%; si la posición de la válvula se incrementa en 1%.

La *característica del flujo rápido de abertura* produce un gran flujo con un pequeño desplazamiento de la válvula. Básicamente, la curva es lineal en la primera parte del desplazamiento, con una pendiente pronunciada, con una pendiente pronunciada. Es conveniente mencionar que la válvula de apertura rápida no es buena para la regulación, ya que no afecta el flujo en la mayor parte del desplazamiento.

La “conciliación” de la característica correcta de la válvula para cualquier proceso requiere un análisis detallado de la dinámica del proceso completo, tomando en cuenta que las *válvulas con característica de flujo lineal* se usan comúnmente en circuitos de nivel de líquido y otros procesos en que la caída de presión a través de la válvula es bastante constante. Las *válvulas con característica de flujo de apertura rápida* se usan principalmente en servicios de abierto cerrado, en los que se requiere un gran flujo tan pronto como la válvula comienza a abrir. Finalmente las *válvulas con característica de flujo de porcentaje igual* son probablemente las más comunes; generalmente se usan en servicios donde se esperan grandes variaciones en la caída de presión ; o en aquellos en los que , a través de la válvula, se toma un pequeño porcentaje de la caída total de presión en el sistema.

1.5 ESTRATEGIAS DE CONTROL

CONTROL POR RETROALIMENTACIÓN

El esquema de control que se muestra en la figura 1.1 se conoce como control por retroalimentación, también se le llama circuito de

control por retroalimentación. Esta técnica la aplicó por primera vez James Watt hace casi 200 años, para controlar un proceso industrial; consistía en mantener constante la velocidad de una máquina de vapor con carga variable; en este procedimiento se toma la variable controlada y se retroalimenta al controlador para que este pueda tomar una decisión.

Si la temperatura de entrada al proceso aumenta y en consecuencia crea una perturbación, su efecto se puede propagar a todo el invernadero antes de que cambie la temperatura de salida. Una vez que cambia la temperatura de salida, también cambia la señal del transmisor al controlador, en ese momento el controlador detecta que debe compensar la perturbación mediante la disminución de temperatura, el controlador señala entonces a los elementos finales de control su activación o desactivación, y de este modo decrece el valor de la temperatura.

En la figura 1.4 se ilustra gráficamente el efecto de la perturbación y la acción del controlador.

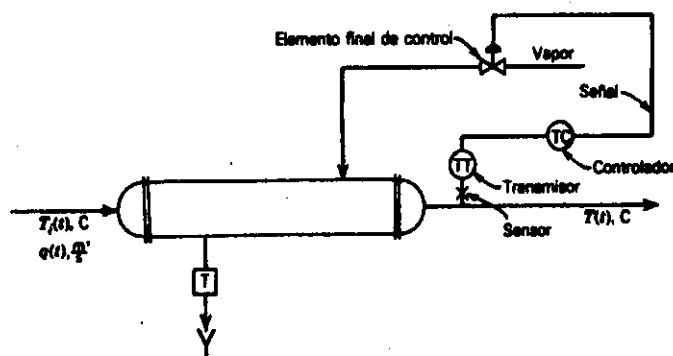


Fig. 1.4

Podemos notar que la temperatura de salida primero aumenta a causa del incremento en la temperatura de entrada, pero luego desciende incluso por debajo del punto de control y oscila alrededor de este hasta

que finalmente se estabiliza. Esta respuesta oscilatoria demuestra que la operación del sistema de control por retroalimentación es esencialmente una operación de ensayo y error, es decir, cuando el controlador detecta que la temperatura de salida aumentó por arriba del punto de control, indica a la válvula que cierre, pero esta cumple con la orden más allá de lo necesario, en consecuencia la temperatura de salida desciende por debajo del punto de control; al notar esto, el controlador señala a la válvula que abra nuevamente un tanto para elevar la temperatura. El ensayo y error continúa hasta que la temperatura alcanza el punto de control donde permanece posteriormente.

La ventaja del control por retroalimentación consiste en que es una técnica muy simple que compensa todas las perturbaciones. Cualquier perturbación puede afectar a la variable controlada, cuando ésta se desvía del punto de control, el controlador cambia su salida para que la variable regrese al punto de control. El circuito de control no detecta qué tipo de perturbación entra al proceso, únicamente trata de mantener la variable controlada en el punto de control y de esta manera compensar la perturbación.

La desventaja del control por retroalimentación estriba en que únicamente puede compensar la perturbación hasta que la variable controlada se ha desviado del punto de control, esto es, la perturbación se debe propagar por todo el proceso antes de que la pueda compensar el control por retroalimentación.

Tipos de Controladores por Retroalimentación

Controlador Proporcional (P).- La ecuación con que se describe su funcionamiento es la siguiente:

$$m(t) = \bar{m} + K_c(r(t) - c(t))$$

o

$$m(t) = m + \bar{K}_c e(t)$$

donde:

$m(t)$: salida del controlador

$r(t)$: punto de control.

$c(t)$: variable que se controla; ésta es la señal que llega del transmisor

$e(t)$: señal de error, ésta es la diferencia entre el punto de control y la variable que se controla.

K_c : ganancia del controlador

\bar{m} valor base. El significado de este valor es la salida del controlador cuando el error es cero; generalmente se fija durante la calibración del controlador en una escala.

En las ecuaciones se ve que la salida del controlador es proporcional al error entre el punto de control y la variable que se controla.; la proporcionalidad la da la ganancia del controlador, K_c ; con esta ganancia o sensibilidad del controlador se determina cuánto se modifica la salida del controlador con un cierto cambio de error.

Los controladores que son únicamente proporcionales tienen la ventaja de que sólo cuentan con un parámetro de ajuste, K_c , sin embargo adolecen de una gran desventaja la Desviación, o “error de estado estacionario” en la variable que se controla.

Controlador Proporcional-Integral (PI).- La mayoría de los procesos no se pueden controlar con una desviación, es decir, se deben controlar en el punto de control, y en estos casos se debe añadir inteligencia al

controlador proporcional, para eliminar la desviación. Este nuevo modo de control es la acción integral o de reajuste y en consecuencia, el controlador se convierte en un controlador proporcional – integral (PI). La siguiente es su ecuación descriptiva:

$$m(t) = \bar{m} + K_c [r(t) - c(t)] + \frac{K_c}{\tau_I} \int [r(t) - c(t)] dt$$

o

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int e(t) dt$$

donde τ_I = tiempo de integración o reajuste minutos/repetición . Por lo tanto el controlador PI tiene dos parámetros, K_c y τ_I que se deben ajustar para obtener un control satisfactorio.

Observando las ecuaciones podemos decir que tanto menor es el valor de τ_I , cuanto mayor es el término delante de la integral, K_c/τ_I , y en consecuencia se le da mayor peso a la acción integral o de reajuste. También podemos notar que mientras esté presente el término de error, el controlador se mantiene cambiando su respuesta y, por lo tanto, integrando el error. El hecho de que el error sea cero, no significa que el término con la integral sea cero, esto significa que el controlador integra una función de valor cero; o mejor aún añade cero a su salida, con lo cual se mantiene constante.

Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID).- Algunas veces se añade un nuevo modo de control al PI, este nuevo modo de control es la acción derivativa, que también se conoce como rapidez de derivación o preactuación; tiene como propósito anticipar hacia dónde va el proceso, mediante la observación de la rapidez para el cambio del error, su derivada. Su ecuación es la siguiente:

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int e(t) dt + K_c \tau_D \frac{de(t)}{dt}$$

donde τ_D = rapidez de derivación.

Por lo tanto el controlador PID tiene tres parámetros K_c o PB, τ_I o τ_I^R y τ_D que se deben ajustar para obtener un control satisfactorio.

Nótese que sólo existe un parámetro para ajuste de derivación τ_D , el cual tiene las mismas unidades, minutos, para todos los fabricantes.

Con el controlador PID, se tiene la capacidad de anticipar hacia donde se dirige el proceso, mediante el cálculo de la derivada del error. La cantidad de anticipación se decide mediante el valor del parámetro de ajuste τ_D .

Mediante la observación de la derivada del error, el controlador sabe que la variable que se controla se aleja con rapidez del punto de control y, en consecuencia, utiliza este hecho para ayudar en su control. Al hacer esto se toma más tiempo para que el proceso regrese al punto de control, pero disminuyen el sobrepeso y las oscilaciones alrededor del punto de control

CONTROL POR ACCIÓN PRECALCULADA

El control por retroalimentación es la estrategia de control más común en las industrias de proceso, ha logrado la aceptación por su simplicidad; sin embargo, en algunos procesos el control por retroalimentación no proporciona la función de control que se requiere, para esos procesos se debe diseñar otros tipos de control, una de tales estrategias es el control por acción precalculada. El objetivo del control

por acción precalculada es medir las perturbaciones y compensarlas antes de que la variable controlada se desvíe del punto de control; si se aplica de manera correcta, la variable controlada no se desvía del punto de control.

El sistema de control por acción precalculada compensa las perturbaciones más serias, corriendo el riesgo de que cualquier otra perturbación que entre al proceso no se compensará con esta estrategia y puede originarse una desviación permanente de la variable respecto al punto de control. Para evitar esta desviación se debe añadir alguna retroalimentación de compensación al control por acción precalculada.

Es importante notar que en las dos estrategias de control están presentes las tres operaciones básicas, M, D Y A. Los sensores y los transmisores realizan la medición, la decisión la toman el controlador por acción precalculada y/o el controlador por retroalimentación, la acción la realizan los elementos finales de control

En general existen otras estrategias de control más costosas que requieren una mayor inversión en el equipo y en la mano de obra necesarios para su diseño, implementación y mantenimiento que el control por retroalimentación. El mejor procedimiento es diseñar e implementar una estrategia de control sencilla, teniendo en mente que si no resulta satisfactoria entonces se justifica una estrategia más “avanzada”, sin embargo, es importante estar consciente de que en estrategias avanzadas aún se requiere alguna retroalimentación de compensación.

1.6 MATEMATICA PARA EL ANALISIS DE CONTROL

Se ha comprobado que las técnicas de transformada de Laplace y linealización son particularmente útiles para el análisis de la dinámica de los procesos y diseño de sistemas de control, debido a que proporcionan una visión general del comportamiento de gran variedad de procesos e instrumentos.

Mediante el método de la transformada de Laplace se puede convertir una ecuación diferencial lineal en una algebraica, que a su vez, permite el desarrollo del útil concepto de funciones de transferencia. Puesto que las ecuaciones diferenciales que representan la mayoría de los procesos son no lineales, aquí se introduce el método de linealización para aproximarlas a las ecuaciones diferenciales lineales, de manera que se les pueda aplicar la técnica de transformada de Laplace. Para trabajar con las transformadas de Laplace se requiere conocimientos de la aritmética con los números complejos.

Transformada de Laplace

Definición.- La transformada de Laplace de una función del tiempo, $f(t)$, se define mediante la siguiente fórmula:

$$F(s) = L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$$

Donde: $f(t)$ es una función del tiempo
 $F(s)$ es la transformada de Laplace correspondiente
 s es la variable de la transformada de Laplace
 t es el tiempo

En la aplicación de la transformada de Laplace al diseño de sistemas de control, las funciones del tiempo son las variables del sistema, inclusive la variable manipulada y la controlada, las señales del transmisor, las perturbaciones, las posiciones de la válvula de control, el flujo a través de las válvulas de control y cualquier otra variable o señal intermedia. Por lo tanto, es muy importante darse cuenta que la transformada de Laplace se aplica a las variables y señales, y no a los procesos o instrumentos.

Para lograr la familiarización con la definición de la transformada de Laplace, se buscará la transformada de varias señales de entradas comunes.

Ejemplo:

En el análisis de los sistemas de control se aplican señales a la entrada del sistema por ejemplo: perturbaciones, cambios en el punto de control, etc. para estudiar su respuesta. A pesar de que en la práctica, generalmente es difícil o incluso imposible lograr algunos tipos de señales, estas proporcionan herramientas útiles para comparar las respuestas.

En este ejemplo se obtendrá la transformada de Laplace de un pulso de magnitud H y duración T

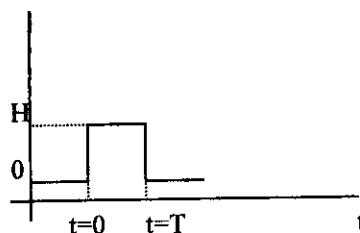


Fig 1.5

La representación algebraica es:

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t < 0, t \geq T \\ H & 0 \leq t < T \end{cases}$$

Su transformada de Laplace está dada por:

$$L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt = \int_0^T He^{-st} dt$$

$$= -\frac{H}{s} e^{-st} \Big|_0^T = -\frac{H}{s} (e^{-sT} - 1)$$

$$L[f(t)] = \frac{H}{s} (1 - e^{-sT})$$

En la siguiente tabla se muestra la transformada de Laplace de funciones más usuales:

$f(t)$	$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\}$
$\delta(t)$	1
$u(t)$	$\frac{1}{s}$
t	$\frac{1}{s^2}$
t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$
te^{-at}	$\frac{1}{(s+a)^2}$
$t^n e^{-at}$	$\frac{n!}{(s+a)^{n+1}}$
$\text{sen } \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
$\text{cos } \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
$e^{-at} \text{sen } \omega t$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$
$e^{-at} \text{cos } \omega t$	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$

Tabla 1

Método de la Transformada de Laplace para resolver Ecuaciones Diferenciales

A continuación se resumen las cuatro posibilidades de solución de ecuaciones diferenciales lineales con coeficientes constantes:

Denominador de $Y(s)$	Término de la fracción parcial	Término de $y(t)$
1. Raíz real no repetida	$\frac{A}{s-r}$	Ae^{rt}
2. Par de raíces complejas conjugadas	$\frac{B(s-r) + Cw}{(s-r)^2 + w^2}$	$e^{rt}(B \cos \omega t + C \text{sen } \omega t)$
3. Raíz real que se repite m veces	$\sum_{j=1}^m \frac{A_j}{(s-r)^j}$	$e^{rt} \sum_{j=1}^m A_j \frac{t^{j-1}}{(j-1)!}$
Término de tiempo muerto en el numerador de $Y(s)$		Término de $y(t)$
4. $Y_1(s)e^{-t_0 s}$		$y_1(t - t_0)$

Tabla 2

$$Y(s) = \frac{A_1}{s - r_1} + \frac{A_2}{s - r_2} + \dots + \frac{A_k}{s - r_k}$$

donde :

$$A_i = \lim_{s \rightarrow r_i} (s - r_i) \frac{N(s)}{D(s)}$$

El procedimiento para resolver ecuaciones diferenciales mediante la utilización de la transformada de Laplace y de la expansión de fracciones parciales se resume en los siguientes pasos:

Se tiene una ecuación diferencial de orden n, de la forma de la ecuación:

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 y(t) = b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_0 x(t)$$

Donde: $y(t)$ es la variable de salida o variable dependiente, y,
 $x(t)$ la variable de entrada o función de forzamiento.
 t es el tiempo o variable independiente.

Paso 1. Con la transformada de Laplace se convierte la ecuación término a término, en una ecuación algebraica en $Y(s)$ y $X(s)$.

Paso 2. La transformada de Laplace de la variable de salida $Y(s)$ se resuelve algebraicamente y se sustituye la transformada de la variable de entrada $X(s)$, para obtener una relación de dos polinomios:

$$Y(s) = \frac{(b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_0)[\text{numerador} - \text{de} - X(s)]}{(a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_0)[\text{denominador} - \text{de} - X(s)]}$$
$$Y(s) = \frac{N(s)}{D(s)}$$

Paso 3. Se invierte mediante la expansión de fracciones parciales, de la siguiente manera:

- a) Se encuentran las raíces del denominador de $Y(s)$ mediante el método de Newton o un programa de computadora.
- b) Se factoriza el denominador.

$$D(s) = s^k + \alpha_{k-1} s^{k-1} + \dots + \alpha_1 s + \alpha_0$$

$$D(s) = (s - r_1)(s - r_2) \dots (s - r_k)$$

- c) Se expande la transformada en fracciones parciales:

Si ninguna de las raíces, reales o complejas se repite. Si existe raíces repetidas, entonces los coeficientes correspondientes se deben evaluar mediante el uso del siguiente sistema de fórmulas:

$$A_1 = \lim_{s \rightarrow r_1} [(s - r_1)^m Y(s)]$$

$$A_2 = \lim_{s \rightarrow r_1} \frac{d}{ds} [(s - r_1)^m Y(s)]$$

$$A_3 = \lim_{s \rightarrow r_1} \frac{1}{2!} \frac{d^2}{ds^2} [(s - r_1)^m Y(s)]$$

.

.

$$A_m = \lim_{s \rightarrow r_1} \frac{1}{(m-1)!} \frac{d^{m-1}}{ds^{m-1}} [(s - r_1)^m Y(s)]$$

- d) Se invierte la ecuación del literal c) con ayuda de las tablas de transformadas de Laplace (Tabla 1.6.1 y 1.6.2). Para raíces no repetidas la solución es de la forma:

$$y(t) = A_1 e^{r_1 t} + A_2 e^{r_2 t} + \dots + A_k e^{r_k t}$$

Quando se diseñan sistemas de control se puede evitar la mayor parte del procedimiento de inversión, porque, como se indica en la tabla 1.6.2, los términos del tiempo de respuesta se pueden reconocer en los términos del denominador de la transformada de Laplace, sin embargo, como para utilizar la transformada de Laplace, las ecuaciones que representan los procesos y los instrumentos deben ser lineales, pero como generalmente en la mayoría de los casos no ocurre eso, es necesario aplicar la técnica de linealización, mediante la cual es posible aproximar las ecuaciones no lineales que representan un proceso a ecuaciones lineales que se pueden analizar mediante la transformada de Laplace.

Nota: La matemática de Laplace es utilizada propiamente en la automatización de grandes procesos industriales, por lo que no la hemos aplicado en nuestro sistema, sin embargo, nos hemos referido a ella de manera muy general. Para este estudio se ha obtenido información del libro Control Automático de Procesos de Smith Corripio.

2. ESTUDIO DEL ENTORNO DEL INVERNADERO

La principal diferencia entre el cultivo al aire libre y en invernadero es el control del ambiente que las plantas necesitan para obtener su máximo desarrollo.

La distribución geográfica de las plantas está básicamente influenciada por la temperatura del ambiente, además de otros factores como la luz, el agua, y los alimentos nutritivos. Pero es la temperatura la que marca los límites entre la simple supervivencia y la máxima producción.

El elemento clave del cultivo protegido, sin duda es el invernadero. Este se define como un recinto cerrado o delimitado por una estructura de madera o metal, recubierta por vidrio o plástico transparente, en cuyo interior se desarrolla un cultivo en condiciones controladas. Para ello los invernaderos están dotados de sistemas de calefacción que permiten aportar calor adicional en los momentos más críticos. También pueden poseer sistemas de iluminación artificial supletoria, así como otros elementos para regular los componentes del clima interior, como la alta temperatura, la humedad o el anhídrido carbónico.

El invernadero significa también un ahorro para el agricultor. El agua utilizada puede llegar a descender en determinados cultivos, hasta casi un 50%, en relación con el cultivo al aire. También el rendimiento de las cosechas aumenta de tres a cinco veces respecto a las plantaciones al aire libre. Existen ya variedades selectas propias para el cultivo bajo invernadero con rendimientos máximos.

Otras ventajas que encontramos en el cultivo bajo invernadero son por un lado el mejor control de las enfermedades y plagas que pueden desarrollarse en los cultivos y por otro la posibilidad de obtener en la misma parcela de cultivo dos o tres cosechas al año.

aparecer con anterioridad a la época normal de recolección y, por tanto, escasear.

- Prolongar las producciones cuando la temperatura empieza a descender, obteniendo con ello productos extratardíos con los mismos resultados que en el caso anterior.
- Aumentar el volumen de la producción. Este se produce debido a los mejores cuidados del cultivo y a las mejores condiciones del ambiente, así como a la ampliación de la época de producción. Con todo ello se consigue un mayor aprovechamiento comercial y un aumento en el rendimiento de la parcela de cultivo.
- Mejorar la calidad de las cosechas para que el producto final pueda competir en el mercado.

2.1 ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN.

Las instalaciones para la protección de los cultivos son muy diversas entre sí, no solo por los materiales y la estructura, sino también por el control del ambiente. Las diferencias básicas radican, por un lado, en los materiales estructurales y, por otro, en los de cobertura. La combinación de los dos tipos de materiales determinan el tipo de invernadero.

Los materiales estructurales más utilizados son: la madera, el hierro galvanizado y, en algunos casos para determinadas piezas, el aluminio.

Los tipos de invernadero atendiendo la forma de cubierta, son:

- Invernaderos de cubierta plana
- Invernaderos de cubierta a dos vertientes o dos aguas
- Invernaderos de cubierta curva

Existen, a su vez en estos tipos diversas variantes. Entre ellas figuran los invernaderos asimétricos, en diente de sierra, y tipo paoda con ventilación cenital, todos ellos dentro de los invernaderos a dos vertientes. Entre los de techo curvo existen los circulares, los circulares rebajados y, los elípticos en asa de cesta.

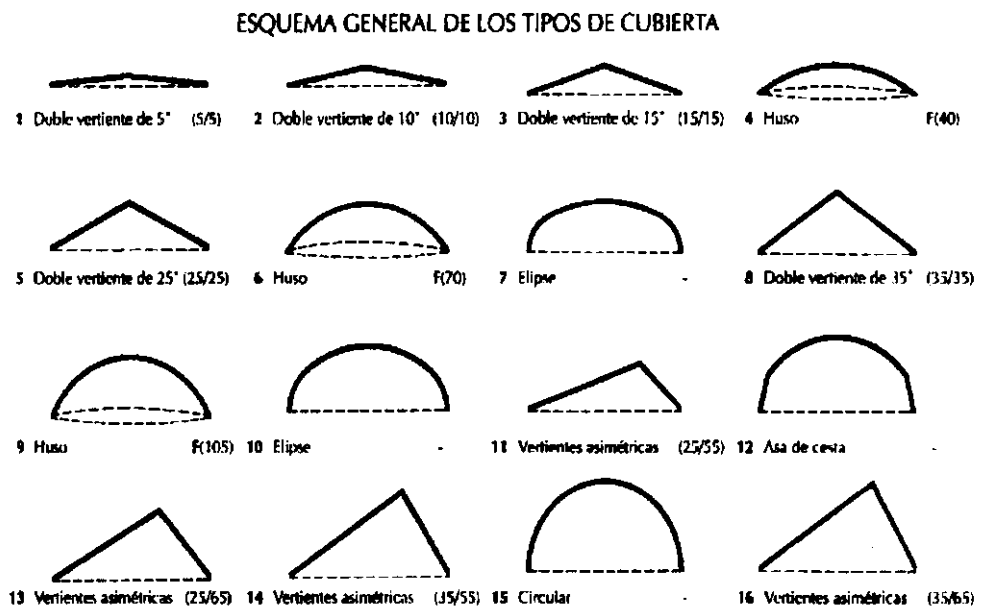


Fig. 1.6

Los materiales de cobertura son el cristal y el plástico, éste último en sus dos modalidades de láminas rígidas y flexibles.

Por lo general, encontramos invernaderos de madera y plástico e invernaderos de estructura metálica con cobertura de vidrio o plástico rígido.

Las dimensiones de los invernaderos de madera oscila entre los 5 y 8 metros de ancho por 1.60 a 1.80 metros de altura en el alero, y 2.50 a

3 metros a altura en su cenit. No se aconseja sobrepasar los tres metros en la cumbre del invernadero, para evitar los problemas causados por el empuje del viento. En general, tampoco es conveniente sobrepasar los 10 metros de ancho en un solo invernadero, siendo mejor acoplar varios elementos seguidos para superficies muy amplias.

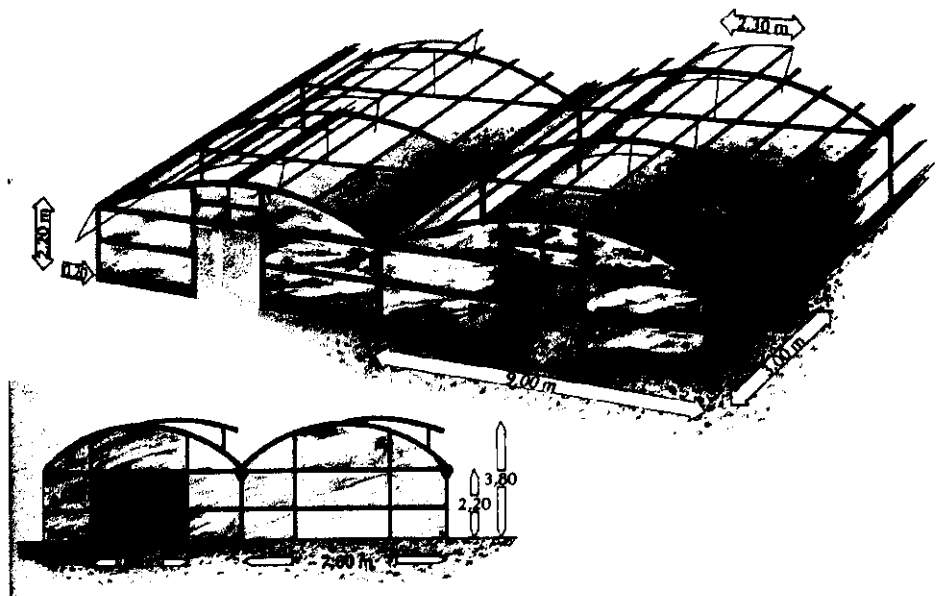


Fig. 1.7

La longitud del invernadero es más variable, calculando que cubra unos 500 a 600 metros cuadrados de la superficie del terreno. En invernaderos metálicos de tipo industrial, esta superficie puede llegar a los 1500 metros cuadrados cubiertos .

El diseño de los invernaderos, debe contemplar, en primer lugar, el aprovechamiento del clima natural de la zona a través de su forma, además de la orientación, la pendiente de la cubierta y su material, sin olvidar, naturalmente, el tipo de cultivo a realizar.

El objetivo primordial del diseño de un invernadero debe reunir las mínimas condiciones técnicas que permitan una posible variación en la orientación productiva, todo ello dentro de un contexto económico, de tal manera que el modelo de invernadero se encuentre dentro de las posibilidades financieras del agricultor.

2.2 LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

Es un hecho que las medidas del invernadero, así como su forma y estilo, dependen esencialmente de las necesidades de cada agricultor. La elección del invernadero debe basarse en el propósito de uso, el capital disponible y las características del lugar.

Las características externas son los condicionantes que primero deben definirse. Estos condicionantes están ligados, por un lado, a las condiciones climáticas de la zona donde se desea construir el invernadero y, por otro, a las características químicas, físicas y físico – químicas del suelo, al abastecimiento y calidad del agua para el riego y otros factores tales como el suministro de energía y comunicaciones.

Para la ubicación del lugar, tiene que tenerse en cuenta la elección del tipo de terreno y el microclima existente, prestando suma atención a la evolución de las temperaturas y de la humedad, así como del período libre de heladas, de la insolación, de la duración del día y del régimen de vientos.

Debe tenerse un especial cuidado en la elección del emplazamiento del invernadero y elegir un lugar alejado de edificaciones o árboles que puedan dar sombra, sobre todo en invierno cuando el sol está muy bajo. Por la misma razón, debe tenerse en cuenta la sombra de

montañas o lomas próximas. También se huirá de zonas de hondonadas, porque en ellas se deposita y discurre el aire frío en las épocas invernales con el consiguiente riesgo de heladas.

Se buscará un lugar en el que corra alguna brisa o viento que facilite la ventilación y se elegirá un suelo de buena textura, huyendo de los compactos y mal drenados.

2.3 FACTORES AMBIENTALES A TENER EN CUENTA EN EL INVERNADERO

La climatología de una zona determina el tipo de invernadero a instalar, así como su orientación. Pero el ambiente que realmente interesa para el desarrollo del cultivo es el interior, que aunque derive del ambiente exterior, por el mero hecho de ser un ambiente que se desarrolla en área cubierta, sufre unas modificaciones sustanciales .

2.3.1 Temperatura.

De todos los componentes del clima, la temperatura quizás sea el que más influye sobre el desarrollo de la planta de una forma más aparente. Es pues el primer factor climático que se intenta regular en el cultivo bajo invernadero.

Los vegetales necesitan una temperatura específica para realizar cada una de sus funciones. Por debajo o por encima de esta temperatura, esas funciones se ven imposibilitadas. Pero la función del horticultor que recurre al invernadero no es simplemente la de evitar que la temperatura llegue a niveles críticos, sino que se mantenga en el punto de mayor beneficio para el cultivo en lo concerniente a respiración,

transpiración, fotosíntesis, germinación, crecimiento y fructificación. Sobrepasar los límites de tolerancia significa la muerte del vegetal.

Mantener un adecuado nivel de temperatura para satisfacer las necesidades de desarrollo de los vegetales, es en esencia la finalidad del control climático bajo invernadero.

Para la adecuada comprensión del efecto temperatura y su manejo sobre las plantas cultivadas es conveniente conocer una serie de conceptos:

- Cero Vegetativo: es la temperatura por debajo de la cual la planta deja de crecer y desarrollarse }
- Temperaturas Críticas: son las temperaturas mínimas o máximas por debajo o por encima de las cuales se puede producir daños e las plantas
- Temperatura Optima: es aquella para la cual, y a igualdad de los restantes factores del clima, el desarrollo y crecimiento de la planta se efectúa en la forma más ventajosa.
- Temperatura Mínima: es aquel valor de la temperatura por debajo del cual no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa.
- Temperatura Máxima: será aquel valor por encima del cual se verá afectada ostensiblemente una determinada fase vegetativa

A continuación presentamos una tabla de algunos cultivos con sus respectivas temperaturas.

CULTIVO	GERMINACION			CRECIMIENTO		FLORACION	
	Mín.	Opt.	Máx	Noche	Día	Noche	Día
Tomate	10°	25-30°	35°	13-16°	18-21°	15-18°	23-28°
Pimiento	13°	25-30°	40°	16-18°	20-25°	18-20°	25°
Pepino	12°	30°	35°	18-22°	20-25°	18-22°	20-25°
Melón	13°	28-30°	40°	20-24°	25-30°	18-22°	20-23°
Clavel	-	-	-	10-12°	22-22°	10-12°	20-22°
Rosa	-	-	-	10-12°	20-25°	14-16°	20-25°

Tabla 3

2.3.2 Humedad

Cada cultivo requiere una humedad distinta en el ambiente de invernadero en el que vegeta en óptimas condiciones. Cuando esa humedad aumenta o disminuye a límites exagerados, los vegetales sufren grandes desequilibrios.

La cantidad de humedad presente en la atmósfera del invernadero está en proporción directa con la humedad del terreno, es decir, con la cantidad de agua que el terreno ha almacenado y retenido, y también con las necesidades hídricas de un cultivo durante todo el ciclo vegetativo.

2.4 ACONDICIONAMIENTO Y CLIMATIZACION

2.4.1 Regulación de la Temperatura.- En el caso de que la temperatura sobrepase los límites máximos, se pueden emplear los medios siguientes:

- Acción sobre la cubierta: sistemas de sombreado como el encalado y las mallas.
- Refrigeración de la cubierta con agua:
 - Ventilación
 - Remoción del aire interior
 - Refrigeración por evaporización de agua
- Corrientes de aire fría

Es importante la renovación del aire dentro de un invernadero, ya que actúa sobre el clima de cultivo creado en el interior. No sólo cambia la temperatura del aire, sino también afecta a la humedad, al oxígeno y, al anhídrido carbónico. La ventilación puede ser natural o mecánica .

La ventilación natural se consigue abriendo ventoleras y creando corrientes de aire naturales y la mecánica mediante ventiladores.

Si la temperatura es inferior a los límites mínimos se puede emplear lo siguiente:

- Calefacción: por vapor de agua, por aire caliente, aerotermos, calefacción en el suelo, calefactores.
- Lámparas eléctricas

2.4.2 Regulación de la Humedad.- La humedad del ambiente de un invernadero depende fundamentalmente del agua que tenga el suelo y de la humedad del ambiente exterior; lógicamente también va en función de la temperatura

Para corregir los defectos de humedad en el ambiente, se pueden emplear los siguientes medios:

Para mantener la humedad en el suelo mediante:

- Riegos: riegos adaptados al cultivo, teniendo en cuenta de no perjudicarlo por exceso.
- Balsetas de agua : depósitos de agua distribuidos en el suelo.
- Riego por Aspersión: para cultivos que precisan una humedad alta.

Disminuir la temperatura mediante:

- Ventilación
- Remoción del Aire
- Disminución de luminosidad

Los excesos de humedad son difíciles de corregir, principalmente cuando se debe a una humedad alta en el ambiente exterior, como suele ocurrir cuando hay niebla y rocío nocturno. Los medios para disminuir el exceso de humedad son los siguientes:

- Forzando la entrada de aire seco del exterior.
- Evitando el exceso de humedad en el suelo con riegos
- Aumentando la temperatura mediante calefacción.

Nota: El estudio del Entorno del Invernadero se realizó en base a bibliografía obtenida de la enciclopedia IDEA BOOKS S.A. "Biblioteca de la Agricultura".

CAPITULO II

ESTUDIO PREMILINAR

1. DETERMINACION DE LOS INTERESES DEL USUARIO

La principal diferencia entre el cultivo al aire libre y en invernadero es el control del ambiente que las plantas necesitan para obtener su máximo desarrollo. La distribución geográfica de las plantas está básicamente influenciada por el temperatura del ambiente, además de otros factores como la luz, el agua y los elementos nutritivos.

Para ello los invernaderos deben estar dotados de sistemas de calefacción que permiten aportar calor adicional en los momentos más críticos. También pueden poseer sistemas de iluminación artificial supletorio, así como otros elementos para regular los componentes del clima interior como: la temperatura y la humedad. El control de todos estos factores debe ser constante, tanto en el día como en la noche, por parte del agricultor, por lo que demandaría de gran esfuerzo físico y de tiempo.

Es por eso que es necesario que automáticamente en el momento que exista una alta temperatura, las ventoleras se abran, o se encienda el ventilador, y en el caso de que se encuentren encendidas las lámparas, pues éstas se apaguen enseguida.

Igualmente para la humedad, es necesario que automáticamente, se abran las llaves de riego en el caso de que exista una escasa humedad. También se da el caso de que el ambiente está seco, para este caso existen humidificadores, los mismos que deben encenderse. Cuando existe exceso de humedad generalmente se aumenta la temperatura, utilizando para ello los calefactores y a la vez se puede utilizar los ventiladores y lámparas.

Hay algunas plantas que necesitan radiaciones luminosas incluso en la noche, para ello se encienden entonces lámparas, ésto depende por supuesto del tipo de cultivo que se tenga en el invernadero.

2. RESPONSABILIDADES

Para la automatización de los procesos antes mencionados se deberá:

- Mantener un adecuado nivel de la temperatura para satisfacer las necesidades de desarrollo de los vegetales, de acuerdo al tipo de cultivo.
- Disminuir la temperatura mediante la ventilación
- Disminuir la temperatura apagando lámparas
- Aumentar temperatura encendiendo las lámparas
- Mantener niveles óptimos de humedad tanto en el suelo de acuerdo al tipo de cultivo.
- Controlar el exceso de humedad forzando la entrada de aire seco abriendo ventoleras
- Controlar el exceso de humedad controlando el riego.

CAPITULO III

ANALISIS

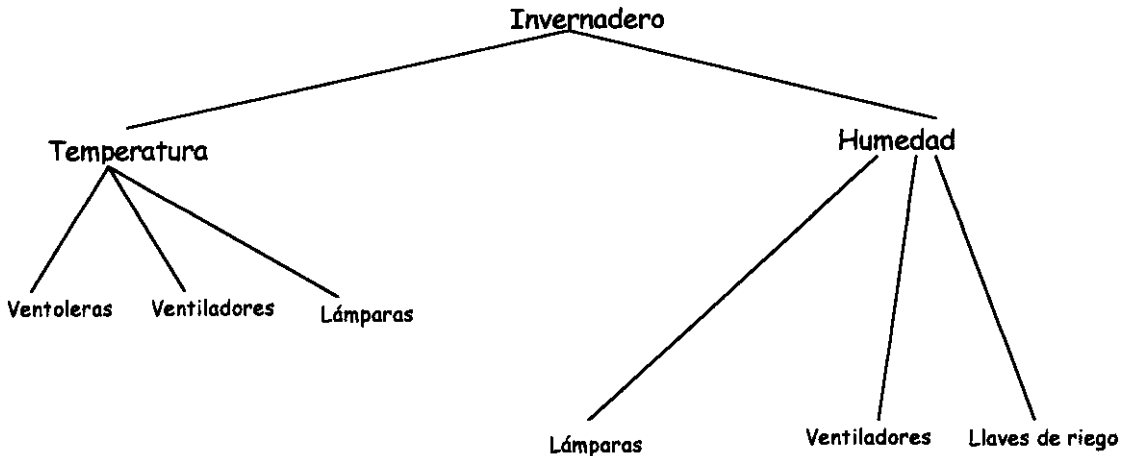
1. DEFINICION DE LAS CLASES Y ATRIBUTOS

CLASES	OBJETOS	ATRIBUTOS
Invernadero		True/False
Temperatura		Alta/ Baja/ Controlada
	Termómetros	
	Ventiladores	Encendido / Apagado
	Lámparas	Encendido / Apagado
	Ventoleras	Abierto/ Cerrado
Humedad		Alta/ Baja/ Controlada
	Ventiladores	Encendido / Apagado
	Llaves de riego	Abierto/ Cerrado
	Lámparas	Encendido / Apagado
Luminosidad		Alta/ Baja/ Controlada
	Lámparas	Encendido / Apagado
Irrigación		Falso / Verdad
	Llaves de riego	Abierto/ Cerrado

2. GUIONES

AGENTE	ACCION	RECEPTOR	RESULTADO
Invernadero	Controlar Temperatura	Temperatura	Notificar sensores
Temperatura	Ventilación	Ventiladores y/o ventoleras	Temperatura baja
Temperatura	Luz Artificial	Lámparas	Temperatura alta
Temperatura	Apagar controladores de ambiente	Ventoleras, ventiladores, etc.	Temperatura controlada
Invernadero	Controlar humedad	Humedad	Notificar sensores
Humedad	Entrada de aire seco	Ventiladores	Humedad baja
Humedad	Cese del riego	Llaves de riego	Humedad controlada
Humedad	Riego	Llaves de riego	Humedad alta

GRAFO DE CONTROL



3. DEFINICION DE LAS RESPONSABILIDADES Y ATRIBUTOS DE CADA CLASE.

CLASE	RESPONSABILIDAD	PROPIEDADES VISIBLES
INVERNADERO	Mantener condiciones ambientales adecuadas	True / False
TEMPERATURA	Mantener adecuado nivel de temperatura	Alta / Baja / Controlada
HUMEDAD	Mantener adecuado nivel de humedad	Alta / Baja / Controlada

4. DEFINICION DE LAS COLABORACIONES.

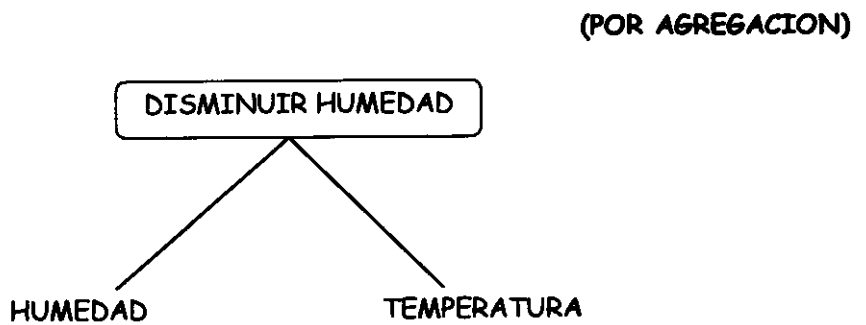
Colaboración entre Clases

CLASE	SERVICIO SOLICITADO	COLABORADO RES
Invernadero	Mantener adecuado nivel de temperatura	Temperatura
Invernadero	Mantener adecuado nivel de humedad	Humedad
Humedad	Disminuir humedad	Temperatura
Temperatura	Aumentar temperatura	Luminosidad

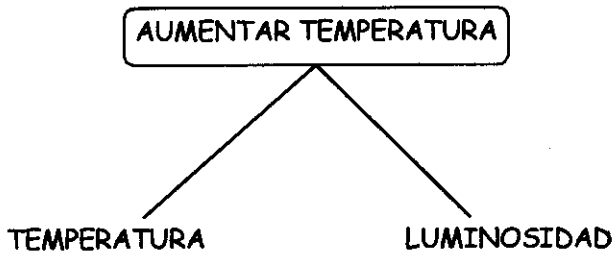
Colaboración entre Clases y Objetos

CLASE	SERVICIO SOLICITADO	COLABORADORES
Temperatura	Disminuir temperatura	Ventiladores
Temperatura	Disminuir temperatura	Ventoleras
Temperatura	Aumentar temperatura	Lámparas
Humedad	Disminuir humedad	Ventiladores
Humedad	Disminuir humedad	Llaves de Riego
Humedad	Aumentar humedad	Llaves de riego
Luminosidad	Aumentar luminosidad	Lámparas

5. DEFINICION DE LAS RELACIONES ENTRE CLASES



(POR AGREGACION)



6. DEFINICIONES DE CLASES

NOMBRE: Invernadero

RESPONSABILIDADES: Mantener condiciones ambientales adecuadas

ATRIBUTOS: True / False

COLABORACIONES:

SERVICIOS SOLICITADOS

*Mantener adecuado nivel de temperatura

*Mantener adecuado nivel de humedad

COLABORADORES

Temperatura

Humedad

NOMBRE: Temperatura

RESPONSABILIDADES: Mantener un nivel adecuado de temperatura.

ATRIBUTOS: Alta / Baja / Controlada

COLABORACIONES:

SERVICIOS SOLICITADOS

- *Disminuir temperatura
- *Disminuir temperatura
- *Aumentar temperatura

COLABORADORES

- Ventiladores
- Ventoleras
- Lámparas

NOMBRE: Humedad

RESPONSABILIDADES: Mantener un nivel adecuado de humedad

ATRIBUTOS: Alta / Baja / Controlada

COLABORACIONES:

SERVICIOS SOLICITADOS

- *Disminuir humedad
- *Disminuir humedad
- *Disminuir humedad
- *Aumentar humedad

COLABORADORES

- Temperatura
- Ventiladores
- Llaves de riego
- Llaves de riego

7. DEFINICIONES DE LAS RELACIONES

CLASE	TIPO DE RELACION	RELACIONADA CON
INVERNADERO	TIPO: Generalización Pues comparten los mismos atributos y se definen a partir de la clase padre que es Invernadero	Temperatura Humedad
HUMEDAD	TIPO: Por Agregación Pues comparten la responsabilidad de disminuir la humedad	Temperatura
TEMPERATURA	TIPO: Por Agregación Pues comparten responsabilidad de disminuir temperatura	Humedad

CAPITULO IV

DISEÑO

1. REFINAMIENTO DEL ANÁLISIS

a) Refinamiento de las Clases

Clase Abstracta: Invernadero
Clases Análogas: Temperatura
Humedad

b) Refinamiento de las Responsabilidades y Atributos

Invernadero:

Responsabilidades:

- Mantener un adecuado nivel de temperatura
- Mantener un adecuado nivel de humedad

Atributos:

- True / False

Temperatura

Responsabilidades:

- Aumentar temperatura
- Disminuir Temperatura

Atributos

- Alta / Baja / Controlada

Humedad

Responsabilidades:

- Aumentar humedad
- Disminuir humedad

Atributos

- Alta / Baja / Controlada

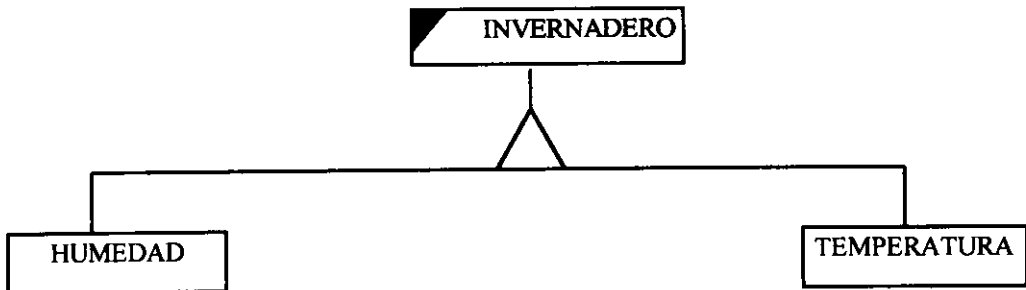
c) Refinamiento de las Colaboraciones

CLASE	SERVICIO SOLICITADO	COLABORADO RES
Invernadero	Mantener adecuado nivel de temperatura	Temperatura
Invernadero	Mantener adecuado nivel de humedad	Humedad
Humedad	Disminuir humedad	Temperatura
Temperatura	Aumentar temperatura	Luminosidad

Colaboración entre Clases y Objetos

CLASE	SERVICIO SOLICITADO	COLABORADORES
Temperatura	Disminuir temperatura	Ventiladores
Temperatura	Disminuir temperatura	Ventoleras
Temperatura	Aumentar temperatura	Lámparas
Humedad	Disminuir humedad	Ventiladores
Humedad	Disminuir humedad	Llaves de Riego
Humedad	Aumentar humedad	Llaves de riego
Luminosidad	Aumentar luminosidad	Lámparas
Fertirrigación	Fertilizar el suelo	Controladores de Riego

2. DIAGRAMAS DE CLASES



3. DICCIONARIO DE CLASES

NOMBRE: Invernadero

RESPONSABILIDADES: Mantener condiciones ambientales adecuadas

ATRIBUTOS: True / False

NOMBRE: Temperatura

RESPONSABILIDADES: Mantener un nivel adecuado de temperatura.

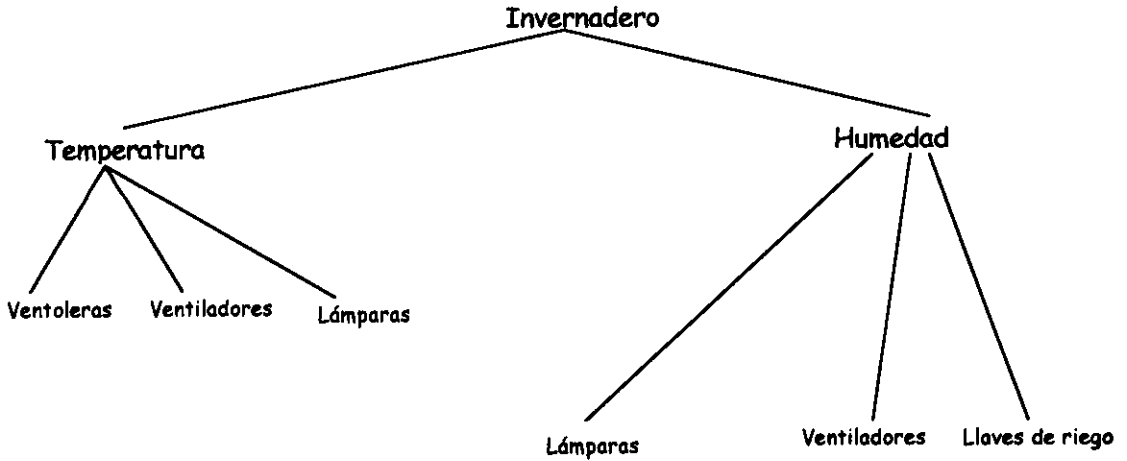
ATRIBUTOS: Alta / Baja / Controlada

NOMBRE: Humedad

RESPONSABILIDADES: Mantener un nivel adecuado de humedad

ATRIBUTOS: Alta / Baja / Controlada

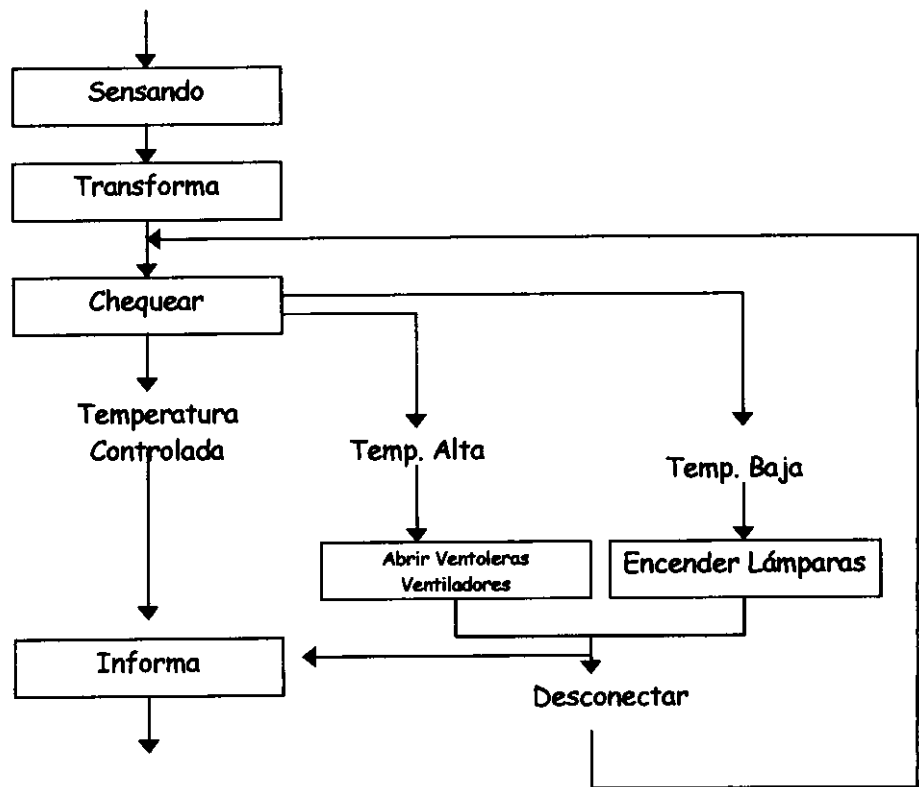
4. REFINAMIENTO DE LA JERARQUÍA



6. DIAGRAMA DE TRANSICIÓN DE ESTADOS

Temperatura

ESTADOS	ACCION
Sensando	Solicita el valor de temperatura por el canal asociado
Transforma	Realiza conversión a unidades de ingeniería
Chequear	Chequea rango de temperatura adecuada
Abrir Ventoleras	Abre las ventoleras si temperatura es alta
Enciende Lámparas	Encienda lámparas si temperatura es baja
Informa	Muestra información de temperatura en pantalla



Nodo: Sensando
 Alcanzado desde: Inicio
 Acción:: Solicita el valor de temperatura por el canal asociado
 Salida: Transforma

Nodo: Transforma
 Alcanzado desde: Sensando
 Acción:: Realiza conversión a unidades de ingeniería
 Salida: Chequear

Nodo: Chequear
 Alcanzado desde: Transforma
 Acción:: Chequea rango de temperatura adecuada
 Salida: Informa

Encender Lámparas

Abrir Ventoleras

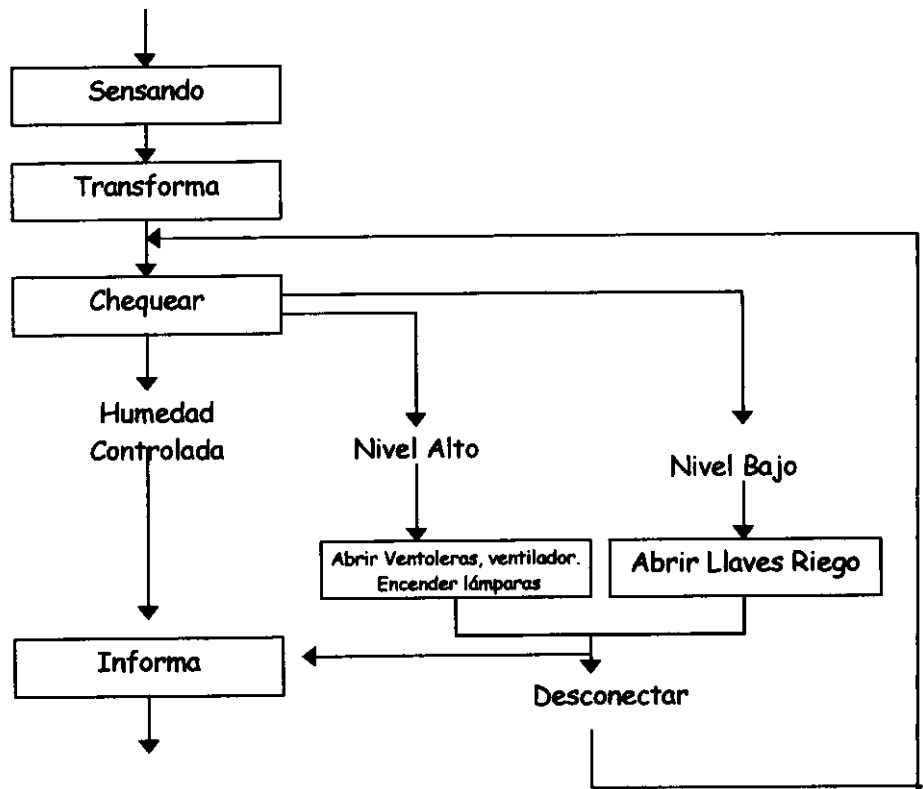
Nodo: Informa
Alcanzado desde: Chequear
Encender Lámparas
Abrir Ventoleras
Acción:: Muestra información de temperatura en pantalla
Salida: Fin

Nodo: Encender Lámparas
Alcanzado desde: Chequear
Acción:: Encienda lámparas si temperatura es baja
Salida: Chequear
Informa

Nodo: Abrir Ventoleras
Alcanzado desde: Chequear
Acción:: Abre las ventoleras si temperatura es alta
Salida: Chequear
Informa

Humedad

ESTADOS	ACCION
Sensando	Solicita el valor de nivel de humedad por el canal asociado
Transforma	Realiza conversión a unidades de ingeniería
Chequear	Chequea rango de humedad adecuado
Abrir Ventoleras	Abrir las ventoleras si humedad es alta
Abrir Llaves de Riego	Abre llaves de riego si humedad es baja
Informa	Muestra información de humedad en pantalla



Nodo: Sensando
 Alcanzado desde: Inicio
 Acción:: Solicita el valor de nivel de humedad por el canal
 Salida: Transforma

Nodo: Transforma
 Alcanzado desde: Sensando
 Acción:: Realiza conversión a unidades de ingeniería
 Salida: Chequear

Nodo: Chequear
 Alcanzado desde: Transforma
 Acción:: Chequea rango de humedad adecuado
 Salida: Informa
 Abrir llaves de riego
 Abrir Ventoleras

Nodo: Informa
Alcanzado desde: Chequear
Abrir llaves de riego
Abrir Ventoleras
Acción:: Muestra información de temperatura en pantalla
Salida: Fin

Nodo: Abrir llaves de riego
Alcanzado desde: Chequear
Acción:: Abre llaves de riego si humedad es baja
Salida: Chequear
Informa

Nodo: Abrir Ventoleras
Alcanzado desde: Chequear
Acción:: Abre las ventoleras si humedad es alta
Salida: Chequear
Informa

CAPITULO V

IMPLEMENTACION

1. CARACTERISTICAS DEL LENGUAJE DE PROGRAMACION DELPHI 3.0

Delphi es un ambiente de desarrollo de aplicaciones basado en componentes que permiten la elaboración rápida y eficiente de aplicaciones bajo Windows utilizando todas las bondades de este sistema operativo. Contiene un conjunto de herramientas de diseño con las que se puede crear y probar prototipos de aplicaciones.

Al crear una aplicación, Delphi genera un conjunto de ficheros con determinadas extensiones:

- .~* Son Ficheros de copias de resguardo
- .dcr Contiene los iconos de los componentes de la biblioteca de componentes visuales
- .dcu Contiene el código compilado y los datos de las units}
- .dfm Contiene valores binarios que representan propiedades de la forma y de sus componentes
- .dsm Son ficheros indocumentados pero contiene código o símbolos intermedios.
- .dll Son bibliotecas de enlace dinámico.
- .dpr Fichero de proyecto que contiene código en Pascal

- .dsk Almacenan la configuración del Desktop.
- .exe Fichero ejecutable de la aplicación
- .opt Almacena opciones seleccionadas en Option / Project
- .pas Contiene código en Pascal. Normalmente hay un .pas para cada forma en la aplicación.
- .res Contiene recursos binarios como iconos, bitmaps, etc.

Delphi trabaja con una paleta de componentes que se divide en las siguientes categorías:

- Estándar (Standard)
- Adicional (Additional)
- Acceso de Datos (Data Access)
- Control de Datos (Data Controls)
- Diálogos (Dialog)
- Sistema (System)
- Vbx (Visual Basic Controls)
- Ejemplos (Samples)

Cada categoría se corresponde con una página de la paleta de componentes.

Las herramientas de base de datos es posible crear, editar y escribir software para casi todos los tipos de bases de datos, así como: Dbase, Paradox, y sistemas ODBC (Open DataBase Connectivity) como Microsoft Access. Se pueden desarrollar sofisticadas aplicaciones cliente / servidor para servidores de datos remotos operando en PC, red, o mainframes. Con Delphi no es necesario otro sistema manipulador de bases de datos.

Una de las herramientas de Delphi es el BDE (Borland DataBase Engine) que contiene un conjunto completo de herramientas para los sistemas de base de datos como Dbase y Paradox, además en su tecnología Cliente / Servidor

proporciona acceso a servidores de Base de datos como Oracle, SyBase, Microsoft SQL Server e Informix.

Una aplicación de base de datos difiere de otras aplicaciones Windows, por su habilidad de leer y escribir datos en tablas de bases de datos. Desde el punto de vista de la interfaz de la aplicación con el usuario, el trabajo es el mismo.

Una forma típica para una aplicación de base de datos, puede necesitar de muchos controles de edición, etiquetas y mallas o cuadrículas para mostrar los datos. Los componentes usados para estos efectos deben estar enlazados a las tablas de la base de datos. En el menú Help, el comando *DataBase Form Expert* es un experto automático para la creación de formas de base de datos.

Los componentes de Delphi para base de datos están en la página *Data Access* de la paleta de componentes. Estos son utilizados por el *DataBase Form Expert* para crear la forma de aplicación. El primer componente a usar es la tabla (*Table*) que crea un puente entre la aplicación y el alias de la Base de Datos. Se necesita además el *DataSource* que permite enlazar a la tabla con los objetos o componentes de control de los datos en la aplicación, como son: *DBEdit*, *DBNavigator*, etc. Todo este trabajo es realizado por DBE(DataBase Engine).

Otra de las ventajas que ofrece Delphi es la manera fácil de trabajar con lenguaje assembler, pues sólo se necesita incluir las instrucciones *asm / end*.

2. DESARROLLO DEL SISTEMA

El sistema fue desarrollado en el Lenguaje de programación Delphi 3.0 y está diseñado de la siguiente manera:

- **Mantenimiento y Selección de Cultivos:** Para el efecto se utiliza una base de datos que contiene los siguientes campos:

Id	Autoincremento: Código del cultivo que se incrementa automáticamente.
NombreComún	A (30) (Alfabético): Nombre del Cultivo
TemperaturaMax	N(Numérico) : Temperatura Máxima estimada
TemperaturaMin	N(Numérico) : Temperatura Mínima estimada
TemperaturaOpt	N (Numérico): Temperatura Optima estimada
Activo	L (Lógico) : True para el cultivo seleccionado y False para los cultivos no seleccionados.

Mediante esta opción se podrá: crear, editar, eliminar registros donde se almacene la información de los diferentes tipos de cultivos. Además de seleccionar el cultivo con el cual se está trabajando.

- **Configuración de Elementos Finales:** Mediante la utilización de CheckBox (casillas de verificación), definimos los elementos finales que se encuentran activos o presentes en el invernadero. Se cuentan con cuatro elementos finales: ventoleras, ventiladores, lámparas y válvulas de riego.
- **Ayuda:** Permite ingresar al archivo de ayuda Inverna.hlp que proporciona ayuda sobre la instalación y funcionamiento del sistema.
- **Salir:** Permite salir de la aplicación.

Adicionalmente en la Forma se encuentran otros componentes como:

Timer1: Definido para que cada cierto tiempo lea información de temperatura y humedad desde el puerto paralelo LPT1.

Los valores de temperatura son enviados por el sensor a través de los pines 14, 15, 16 y 17 , mientras que los valores de humedad a

través de los pines 10, 11, 12 y 13. Una vez recibidos por el computador, son tomados en el registro AX y comparados con los valores de temperatura máxima, mínima y óptima del cultivo activo de la base de datos para la toma de decisiones (activación o desactivación de elementos finales).

La instrucción de assembler utilizada para leer información del puerto paralelo es:

IN al, 379H

La orden de activación o desactivación de los elementos finales de control es enviada a través de los pines: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 mediante la orden de lenguaje assembler:

OUT 378H, al

Shapes: Los mismos que muestran gráficamente los valores de temperatura y humedad receptados, para lo cual cambian de tamaño.

3. ESTUDIO DE LA INTERFAZ ELECTRÓNICA UTILIZADA EN EL SISTEMA.

La interfase que utilizamos para conectar el computador con el circuito que controla los sensores de temperatura, humedad y los elementos finales de control es el puerto paralelo LPT1 cuyas direcciones son: de entrada 379H con los pines del 10 al 17 y de salida 378H a través de los pines 2 al 9. Los pines del 18 al 25 son considerados comunes.

Las señales de entrada al igual que las de salida con las que hemos trabajado son de tipo digital, esto significa que utilizan dos niveles de tensión.

Una tensión representa el nivel bajo (0 para la lógica de la computadora) y otra tensión el nivel alto (1 para la lógica de la temperatura).

El circuito que montamos para las salidas, es decir para la activación y desactivación de los elementos finales de control es el siguiente:

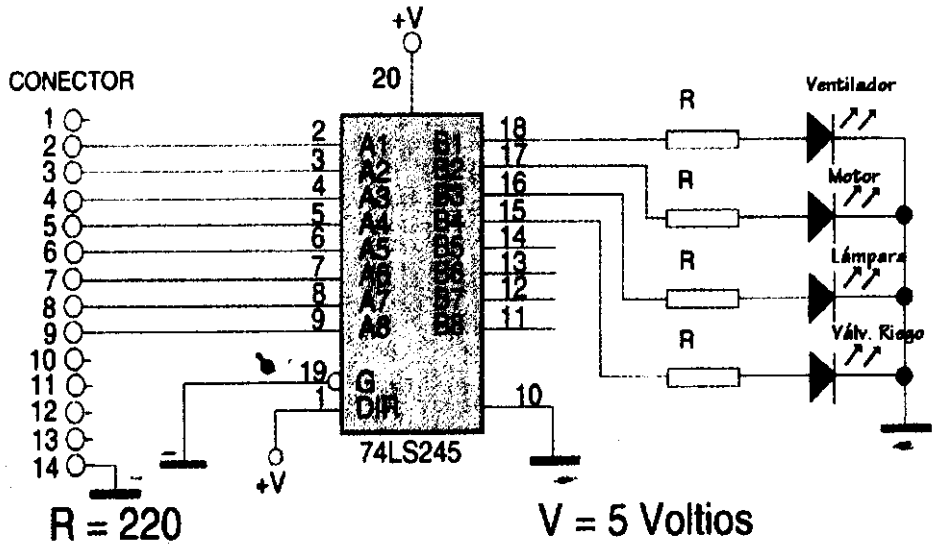


Fig. 5.1 Circuito de Salida

En el circuito mostrado, se utiliza un integrado 74LS245, el cual controla las señales de salida que envía el ordenador permitiendo que mediante los relés se activen o desactiven los elementos finales de control.

- 1 en la salida – Nivel de tensión alta – se activa el relé
- 0 en la salida – Nivel de tensión bajo – no se activa el relé

El relé es el dispositivo que nos permite que con señales débiles podamos manejar aparatos de consumo elevado. La pequeña señal de control que aplicamos a su bobina hace que cambie de estado sus contactos que abren o cierran uno o varios circuitos de potencia. Hay muchos modelos según su

tensión de excitación, el número de circuitos que manejan y la intensidad que soporta sus contactos. }

Al aplicar a la bobina del relé la tensión adecuada, éste se excita cambiando la posición de sus contactos que abren o cierran uno o varios circuitos haciendo que uno o varios aparatos funcionen o no.

Para las entradas de señal, tradicionalmente en los circuitos electrónicos de medición de temperaturas se han utilizado como elementos sensores termistores del tipo NTC (resistencias con coeficiente negativo de temperatura), uniones semiconductoras de diodos y transistores y, en el mejor de los casos diodos especiales diseñados para este cometido. En general, todos estos elementos son válidos aunque denotan una falta de linealidad, sobre todo fuera de ciertos márgenes. Por esto los termómetros electrónicos han adolecido de un margen muy pequeño en el que podían ser considerados exactos.

Los sensores son dispositivos que transforman magnitudes físicas en señales eléctricas. Existen muchos tipos de sensores en función de la magnitud física a la cual son sensibles y de su tecnología de fabricación. Así tenemos sensores de luz, posición, temperatura, etc. Para nuestro sistema hemos considerado una utilización simple de los sensores renunciando a su posibilidad de ir detectando continuamente el valor de la magnitud a la que son sensibles, sólo nos interesa que la magnitud que detecte el sensor se mantenga dentro de un margen de valores y controlar un valor umbral a partir del cual se debe tomar cierta decisión, es decir, activar unas determinadas salidas.

Los sensores y las resistencias nos sirven para aplicar a las entradas de la computadora niveles de señal altos o bajos que se va a interpretar como 1 o 0. La función de una resistencia es oponer una cierta dificultad al paso de la corriente eléctrica, es decir es un limitador de corriente.

La NTC (Negative Temperature Coeficient) que utilizamos en nuestro circuito cambia su resistencia en función de la temperatura a la que se encuentra. Su resistencia disminuye al aumentar su temperatura.

En el circuito se forma un divisor de tensión entre R1 y R2 por una parte y la NTC por otra, repartiéndose la tensión aplicada en función de la relación entre sus valores óhmicos. Cuando la NTC se encuentra a la temperatura ambiente, su resistencia es suficiente para que la caída de tensión en sus extremos haga que la computadora lea un 1.

Cuando se calienta la NTC, su resistencia va disminuyendo y la caída de tensión en sus extremos va siendo más baja hasta llegar el momento que la computadora lee un 0. Esta señal es amplificada por un amplificador operacional de ganancia limitada.

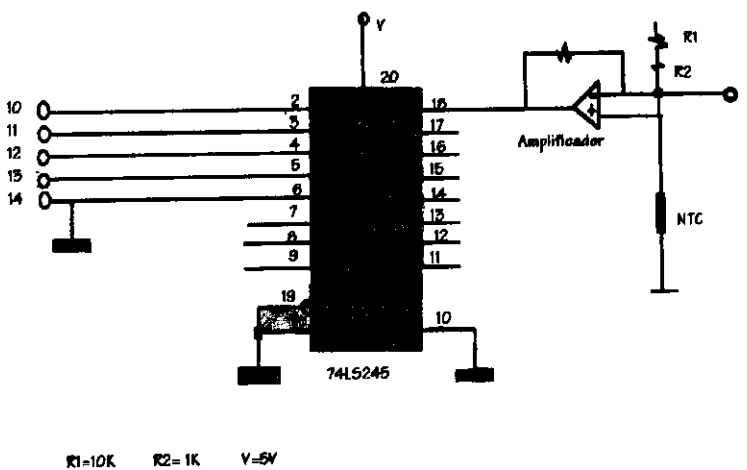


Fig. 5.2 Circuito para lectura de temperatura

Para el control de la humedad, se utiliza el mismo integrado 74LS245. Este circuito basa su funcionamiento en dos conductores enterrados en tierra. Si el suelo está húmedo permitirá el paso de corriente, por lo que el inversor del

circuito invertirá el 1 en 0 y enviando esta señal al computador para desde ahí enviar la orden de activación de las válvulas de riego.

Si por el contrario, el suelo está seco, no existirá paso de corriente y por tanto enviará un 0, señal que se invertirá al pasar por el inversor y enviando un 1 al ordenador. El computador entonces enviará una señal desactivando las válvulas de riego y activando las lámparas.

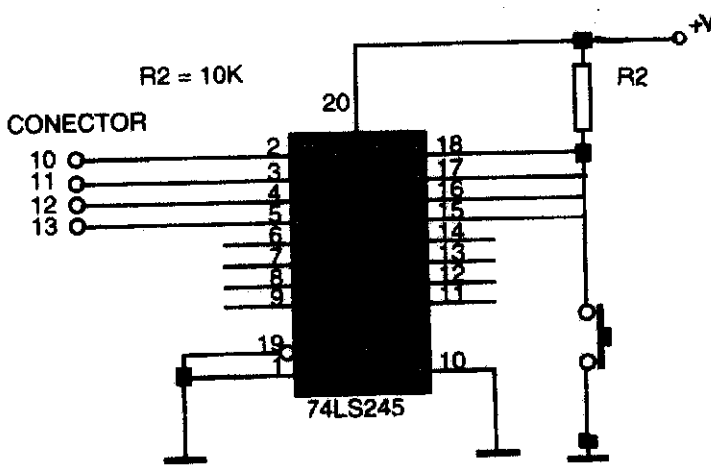
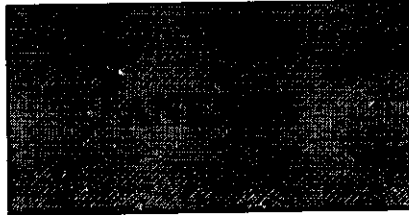
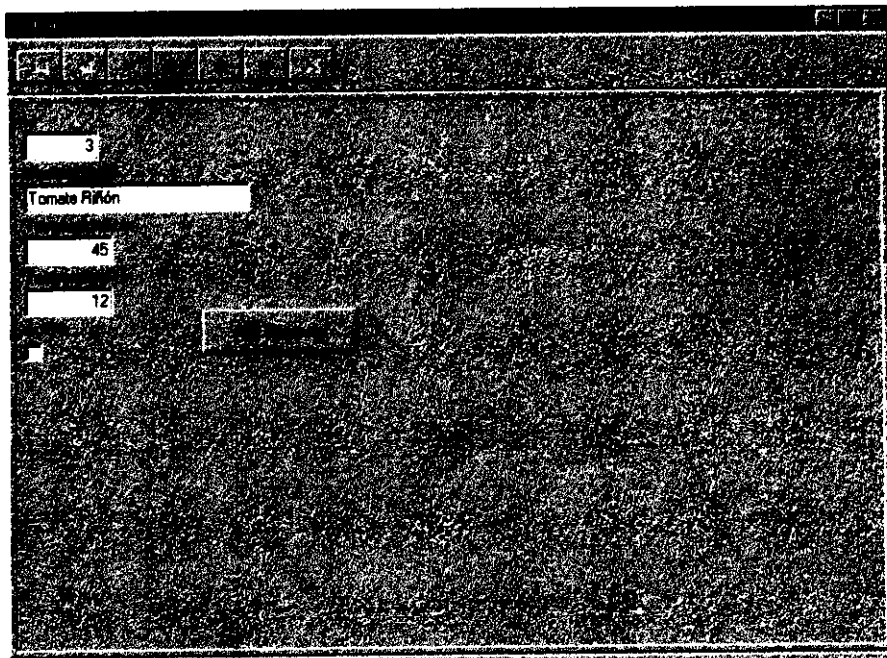
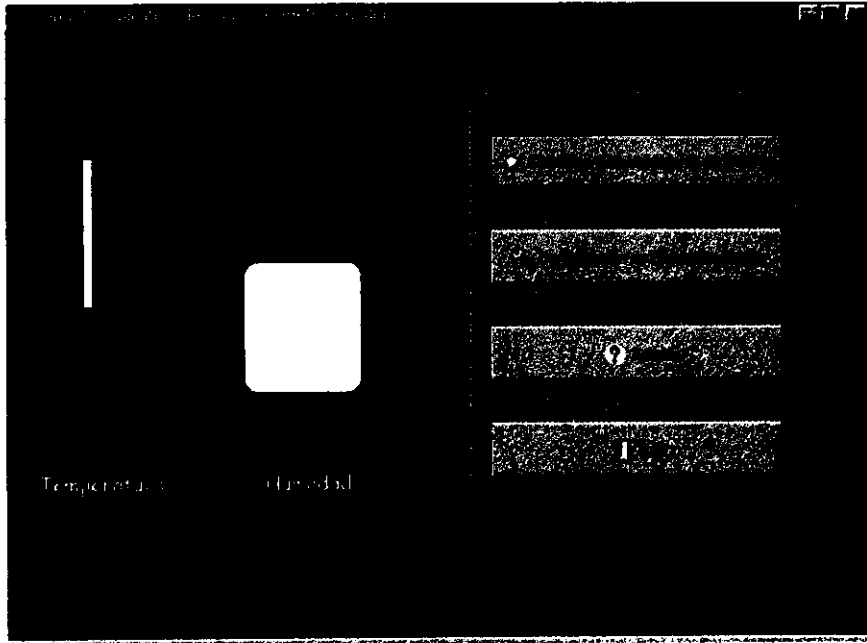
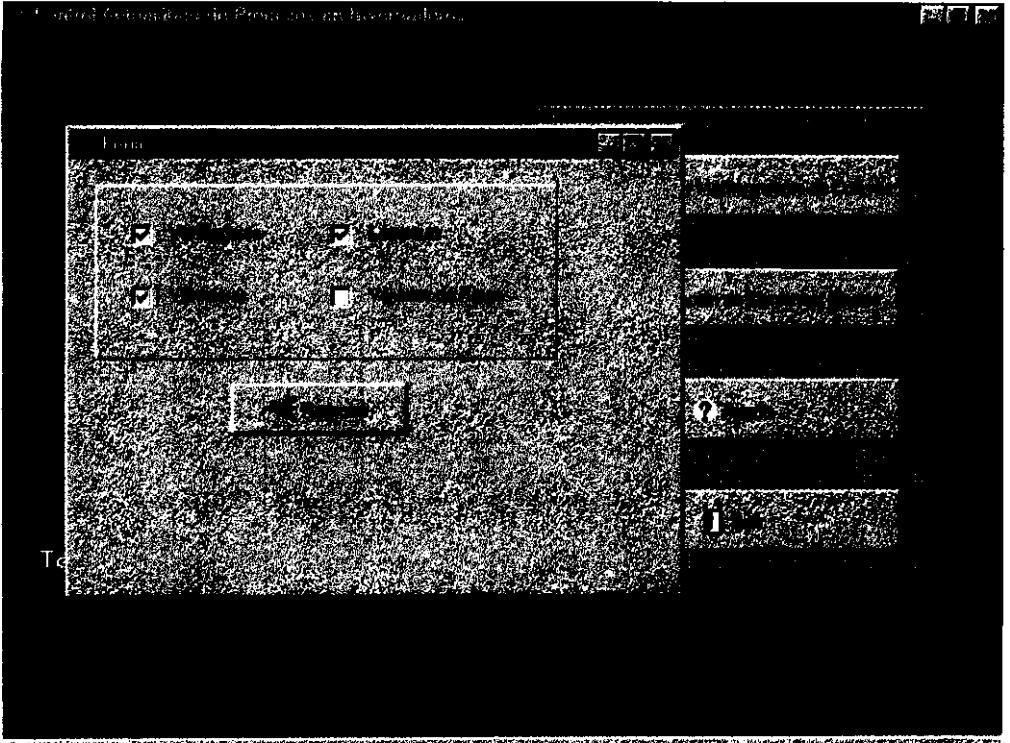


Fig. 5.3 Circuito para control de humedad



PANTALLAS





CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar el estudio de este proyecto, concluimos que el control automático de procesos optimiza recursos (costo, personal, etc.) y permite mejorar la calidad de la producción en un nivel continuo, por lo que las industrias deberían optar por esta opción que en su implantación e implementación podría resultar costoso, pero cuyas ventajas compensan la inversión.

Nuestro proyecto demuestra como controlar la automatización de determinados procesos en un invernadero, para el efecto hemos utilizado una maqueta. Sin embargo, para una implantación real, la interfaz electrónica deberá ampliarse, mediante la utilización de microcontroladores dependiendo incluso del número de salidas, es decir, del número de dispositivos que deben activarse. Si se deseara una mayor precisión en la medición de variables (temperatura y humedad) pueden utilizarse otros sensores como: termocuplas, medidores de precisión, sensores electrónicos, etc.

Finalmente, se puede deducir que la aplicación misma de la electrónica digital está muy ligada al área de sistemas, por lo que con estas dos herramientas se puede conseguir automatizar grandes áreas de la industria, recomendando su estudio práctico en el Area de Sistemas.

Jenny Sánchez
Michita Lana

BIBLIOGRAFIA

- SMITH – CORRIPIO “Control Automático de Procesos” . México, 1997
Editorial Limusa
- BERGSMAN, Paúl “Controlling the World with your PC”. Publicaciones
High Text, 1994.
- PHILLIPS “Manual de Semiconductores”. Edic. 1996
- BOYLESTAD, Robert “Electrónica Teoría de Circuitos”, Editora Prentice Hall
NASHELSKY, Louis
- VASSALLO, Francisco “Componentes Electrónicos” Ediciones CEAC S.A. 1987
Perú.
- “Enciclopedia Electrónica Práctica Resistor“. Editorial Samra S..A. No. 2, 3, 4, 5.
México 1993.
- MANDADO, Enrique “Sistemas Electrónicos Digitales”. Editorial Alfa Omega
1991. México 7ma edición.
- BOOCH, Grady “Análisis y Diseño Orientado a Objetos”
- NIGROL. y TISATO F. “An Object Based Architecture for
Real – Time Applications”. Editado por Meyer y
Mandrioli D. Prentice Hall 1989.
- WIRF – BROCK “Desingning Object-Oriented Software “.Prentice Hall
New Yersey USA.
- LEELAND R. – O’NEAL “SISTEMAS ELECTRONICOS DE PROCESO DE
DATOS”. 1973 Madrid Paraninfo.

- MANNING, Michelle “Delphi 3, Guía Oficial de Borland”. 1998 Prentice Hall
Hispanoamerica S.A.
- IDEA BOOKS S.A. “Biblioteca de la Agricultura”. 1997 Barcelona -
España.
- PROFOPEM Memorias de “Cultivo y Comercialización de Tomate
Rifón bajo Invernadero” .
- WILLEN, David y
KRANTZ, Jeffrey “8088 Assembler Language Programming: The IBM PC”
Howard W. Sams&Co.,Inc. 2da. Edición.

