



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Desarrollo de una cámara automatizada para
experimentación en plantas.

Tesis
Que como parte de los requisitos para obtener el
diploma/grado de (o la)

Maestro en:

Ciencias de Ingeniería de Biosistemas

Presenta

Edgar González Martínez

Santiago de Querétaro, Querétaro, Mayo de 2013



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería de Biosistemas

DESARROLLO DE UNA CÁMARA AUTOMATIZADA PARA EXPERIMENTACIÓN
EN PLANTAS.

TESIS

Presenta:
Ing. Edgar González Martínez

Dirigido por:
Dr. Enrique Rico García

SINODALES

Enrique Rico García
Presidente

M.C. Adán Mercado Luna
Secretario

Dr. Ramón Guevara González
Vocal

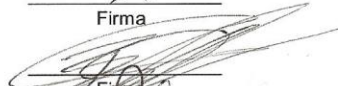
Dra. Rosalía Virginia Ocampo Velázquez
Suplente

Dr. Irineo Torres Pacheco
Suplente


Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad

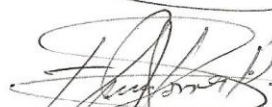

Firma


Firma


Firma


Firma


Firma


Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Mayo de 2013
México

RESUMEN

Con el paso de los años, la humanidad ha cambiado la forma de producir sus alimentos, primero sólo ponían la semilla en la tierra y esperaban a que esta creciera y diera los frutos para cosecharlos. Ahora la raza humana se preocupó en crear buenas condiciones ambientales para la planta, por ejemplo el uso de los invernaderos y cámaras ambientales con diferentes sistemas de control, estos sistemas son implementados en el control de variables como la radiación, la temperatura, la humedad, CO₂ y otros. Para eso se automatizó la cámara de crecimiento para controlar la temperatura, humedad, luz y CO₂ que está instalada en la FIUAQ campus Amazcala. Creando una herramienta confiable para la experimentación que sea capaz de simular condiciones ambientales que se dan cotidianamente. En este trabajo se menciona como se equipó el cuarto y qué instrumentos se utilizaron para crear una cámara de experimentación para plantas en donde se logra controlar la temperatura de 0 a 50°C, la humedad de 20 a 95%, la luz 0 a 100 PAR y el CO₂ 200- 2000ppm, se controló con la ayuda de un microcontrolador, sistemas Xbee a manera de comunicación con la PC y IP a manera de comunicación por medio de internet, como resultado se tuvo una cámara única ya que es una cámara donde se pueden meter plantas grandes de 2m de altura y puedes simular condiciones que se dan en un día sin que te afecten las condiciones exteriores y se podrá tener un monitoreo por medio de internet. Para Comprobar la cámara, se probaron las lámparas en planta de frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*) en estado de plántula obteniendo un óptimo desarrollo comparado con las condiciones exteriores, se caracterizó la cámara obteniendo tiempos de temperaturas máximas y mínimas tomando como referencia un data logger seria 450 obteniendo que la mínima se logra en tres horas a partir de 50°C hasta llegar a 0°C y la máxima de 0°C a 50°C se logra en una hora, se midió la uniformidad de la temperatura y humedad en cuatro puntos diferentes de la cámara a diferente altura utilizando un data logger seria 450 y se obtuvo que la cámara se mantiene uniforme en eso cuatro puntos de la cámara y finalmente se programó las condiciones de un día al azar del 2012 tomando los datos de la base de datos del centro meteorológico de Amazcala y comparando con los obtenidos del data logger 450, se llegó a la conclusión de que se tiene una herramienta científica a menor costo que las comerciales y de mayor aporte para la experimentación dado que presenta uniformidad en la temperatura, se pueden meter plantas grandes, presenta un grande rango de temperatura y humedad para experimentar y con buenos tiempos de respuesta para hacerlo en un día.

Palabras clave: *cámara, plantas, temperatura, humedad, luz, CO₂, Xbee, microcontrolador.*

SUMMARY

Over the years, mankind has changed the way we produce our own food, first we would just put the seed in the ground and wait for this to grow and harvest the fruit. Now the human race has bothered to create better environmental conditions for the plant, for example the use of greenhouses and environmental chambers with different control systems, implemented in the control of variables such as radiation, temperature, humidity, and others. In this project it is mentioned that we use a chamber and instruments to create an experimental chamber for plants where temperature control is achieved by being able to control the following: 0-50 °C, humidity 40-95%, light 0-100 PAR 200- 2000ppm was controlled with the aid of a microcontroller, Xbee systems by way of communication with the PC and IP communication on the Internet, as a result it has a single chamber and in this chamber plants can grow up to 2m high and can simulate conditions encountered in a day without the affect of external conditions and may be monitored via the internet. To check the chamber, lamps were tested in bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) at the process of being a seedling, it obtained an optimal development compared to external conditions, the chamber was characterized by obtaining the time of a maximum and minimum temperature by reference to a data logger 450 and it was recored that it would obtain the minimum in three hours from 50 ° C down to 0 ° C and the maximum from 0 ° C to 50 ° C is achieved in one hour, the uniformity,temperature and humidity was measured in three different points of the chamber and at different heights using a data logger series 450 and it was found that the chamber is kept uniform in those three points of the chamber and finally scheduled the conditions of a random day of 2012 taking the base data Data Amazcala weather center and comparing it with the results obtained from the data logger 450. I am concluded that there is a scientific tool at lower cost than commercial and greater contribution for experimentation since it has uniformity in temperature, plants can get large, It has a large range of temperature and humidity to experience and with good response times to do it in one day.

Keywords: camera, plants, temperature, humidity, light, CO₂, XBee, microcontroller.

DEDICATORIA

**A mis padres Alberto González y Obdulia Martínez
A mis hermanas Marlene y Akatzin**

AGRADECIMIENTOS

A los profesores que aportaron Dr. Enrique Rico García, M. en C. Adán Mercado Luna, Dr. Ramón Guevara González, la maestra Elvia Olvera Olvera.

A todos las personas que me ayudaron a terminar este trabajo y que hicieron amena la estancia durante este tiempo en la maestría, Jimmy Chavez, Rodolfo Casillas, Alejandro Gonzalez , Elena Rodríguez, Rafita Rodríguez, Víctor Lauro, Ismael Urrutia, Mary Villegas, Samuel López.

ÍNDICE

RESUMEN	iii
SUMMARY	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 Descripción del problema	4
1.3 Justificación	4
1.4 Hipótesis y Objetivos	5
Hipótesis	5
Objetivo general	5
II. REVISION DE LITERATURA	5
2.1 Variables climáticas	5
2.2 Temperatura	5
2.3 Humedad Relativa	6
2.4 Luz	7
2.5 Dióxido de carbono	9
2.6 Sensores	11
2.7 Tipos de control	12
Control clásico	12
Sistema experto	15
2.8 Microcontrolador	16
2.8 LCD 4X20	18
III. METODOLOGIA	20
3.1 Ubicación	20
3.2 Especificaciones de la cámara	21
3.3 Diagrama a bloques del sistema	22
3.4 Interface	23
3.4 Control	29
Tarjeta de control	29
Tarjeta de comunicación	31
Reloj DS1307	34
Memoria EEPROM 24CL256	34
Teclado 4x4 y driver MM74C922	35
Interface LCD 4x20	36
Simulación Proteus	36
3.5 Actuadores	37
Humidificador	37
Deshumidificador	38
CO2	39

Luz artificial	39
Enfriamiento	43
Calentamiento.....	45
Sensores.....	46
3.6 Esquema de distribución de actuadores	46
3.7 Fase de potencia	47
3.8 Software embebido.....	49
Interface de programación	49
3.9 Pruebas	50
Prueba de lámpara	50
Prueba de cámara.....	50
Caracterización de temperatura	50
Prueba de uniformidad de la temperatura y la humedad.....	51
Prueba general de los sistemas	52
IV.- RESULTADOS Y CONCLUSIÓN	53
4.1 Lámpara.....	53
4.2 Caracterización de temperatura	54
4.3 Uniformidad de la temperatura y la humedad	56
4.4 Prueba de temperatura simulación de un día	57
V. CONCLUSIÓN	59
LITERATURA CITADA.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1. 1 Cámara de germinación CC1	3
2. 1 Control On/Off	12
2. 2 Sistema experto	16
2. 3 Display LCD 4x20	20
3. 1 Ubicación del campus Amazcala Google Maps	20
3. 2 Puerta de Refrigeración	21
3. 3 Esquema del cuarto	22
3. 4 Diagrama a bloques del sistema	22
3. 5 Ventana de inicio.	23
3. 6 Ventana de configurar	24
3. 7 Ventana de Actuadores.	25
3. 8 Ventana de Historial.	26
3. 9 Ventana del Servidor	27
3. 10 Ventana de monitoreo a distancia.....	28
3. 11 Esquemático de la tarjeta de control.	29
3. 12 PCB tarjeta de control Bottom Layer.	31
3. 13 Vista 3D de la tarjeta de control.	31
3. 14 Esquemático de tarjeta para conectar con cable.....	32
3. 15 Esquemático de comunicación inalámbrica.....	32
3. 16 PCB tarjeta de comunicación por cable y inalámbrica.....	33
3. 17 Tarjeta de comunicación inalámbrica y alámbrica.....	34
3. 18 Esquemático de la conexión del DS1307.	34
3. 19 Esquemático de la conexión de la memoria eeprom.	35
3. 20 Esquemático driver para teclado MM74C922.	35
3. 21 Teclado matricial 4x4.	36
3. 22 Esquemático de la LCD 4x20	36
3. 23 Simulación de la tarjeta de control ISIS Profesional.	37
3. 24 Humidificador.....	38
3. 25 Deshumidificar Soleusaire.....	38
3. 26 Esquemático de conexión de leds.	40
3. 27 Lámpara funcionando.	41
3. 28 Lámpara con plantas.....	41
3. 29 PCB de la tarjeta de la lámpara de leds.....	42
3. 30 Vista 3D de la lámpara de leds.....	42
3. 31 Esquemático fuente de alimentación de las lámparas.....	43
3. 32 Fuente de alimentación lámpara leds.....	43
3. 33 Evaporador	44
3. 34 Unidad SJH-0101.....	44
3. 35 Control AKO 14423	44
3. 36 Movimiento del aire dentro de la cámara	45
3. 37 Resistencias aletadas 220v 1800watts	45
3. 38 Sensor SHT11 con base.....	46
3. 39 Sensor MQ-7 con base	46
3. 40 Esquemático de la conexión del mando manual	48
3. 41 Tablero 1 vista por fuer, vista interior y vista de la puerta.	49
3. 42 Programador Pickit 3 y tarjeta de programación.....	49
3. 43 Frijol sin hoja antes de los tres tratamientos	50
3. 44 Frijol con hoja antes de los tratamientos.....	50
3. 45 Distribución de los sensores	52

4. 1 Resultados de repetición 1.....	54
4. 2 Resultados de repetición 2.....	54
4. 3 Caracterización de temperatura enfriamiento.....	55
4. 4 Caracterización de temperatura calentamiento.....	55
4. 5 Comparativa de temperatura.....	56
4. 6 Comportamiento de la Humedad Relativa.....	57
4. 7 Comportamiento de la temperatura cada 15 minutos.....	58
4. 8 Comportamiento de la temperatura dentro de la cámara cada minuto.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla

1	Requerimientos de DLI.....	8
2	Componentes electrónicos de la tarjeta con su descripción.....	30
3	Componentes de las tarjetas de comunicación.	33
4	Componentes del tablero de control manual	48
5	Medidas de las posiciones de los sensores.....	51
6	Datos meteorológicos de Amazcala 1 de Marzo 2012	53

I. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El hombre se ha interesado en observar y estudiar la manera en que se propagan las plantas, una de ellas es la asexual que se da a partir de tejidos vegetales, los cuales conservan la capacidad de multiplicación para dar origen a un nuevo organismo; otra más común es la sexual que se da por medio de semillas, la semilla se forma a partir del óvulo vegetal previamente fertilizado (Aizen, 2007), la semilla bajo ciertas condiciones favorables genera la germinación, la germinación es el proceso que lleva de semilla a plántula y termina con la aparición de la radícula (Zeigner y Taiz, 2006). En la etapa de germinación a plántula intervienen ciertos factores, tales como temperatura, luz, potencial hídrico, oxígeno entre otros, estos factores afectan la capacidad de germinación de las semillas con respecto al tiempo (Zalazar et al., 2009). La germinación no solo depende de los factores ambientales, sino también de las cualidades físicas de esta, como la relación que tiene de acuerdo al tamaño y color de la semilla; se ha observado que las semillas de mayor tamaño tienen un mayor tiempo de germinación en comparación de las de menor tamaño (Galindo et al., 2008). Otros factores que ayudan o inhiben la germinación son las hormonas de crecimiento y el intercambio gaseoso (Lefcourt, 2001). Otro factor es el magnetismo que afecta la latencia de la semilla, que es un estado de no germinación al ser expuesto a un campo magnético y la plántula ante exposición de campos magnéticos presenta un mayor incremento de biomasa en un tiempo determinado (Torres, 2008). La presión atmosférica interviene en la latencia de la semilla (Thi et al., 2010). Al observar estos factores el hombre ha sentido la necesidad de reproducir ambientes controlados para obtener una mayor producción, calidad o experimentar para determinar algunos otros factores que intervengan en las plantas. Estas cámaras en un comienzo eran simples y otras eran adaptaciones de sistemas ya existentes

como la incubadora de huevo en las que se les agregaba luz (Rincones, 1989) la regulación de los factores a controlar era manual y hecha por operadores, pero se ha ido implementando el uso de la tecnología para su mejoramiento como el uso de controles automáticos, existen varios tipos de control como el método experimental que consiste en tener varias entradas para poder caracterizar las salidas, el modelo matemático basado en la caracterización analítica y pueda ser predecible y el método heurístico basado en el modelado y entendimiento de experiencias previas (Gates et al., 2001). La tendencia es la utilización de sistemas inteligentes, que simulan el comportamiento humano en la toma de decisiones, algunos ejemplos son el aprendizaje automático, las redes neuronales, redes bayesianas, algoritmos genéticos y sistemas expertos (García et al., 2003). Los sistemas expertos son capaces de manejar problemas que generalmente requieren de la intervención humana (García y Britos, 2004), consiste en la recopilación de información de los expertos en diferentes áreas sobre problemas, diagnósticos y planificación. Este método de control nos brinda la posibilidad del manejo de nuestras variables a controlar.

En la actualidad existen gran variedad de cámaras en el mercado por ejemplo:
Cámara frigorífica para la germinación de plantas y pequeñas plantas C3 S.R.L
(marca registrada)

Características:

Control de la temperatura +8°C a +25°C.

Control de la humedad.

Dimensiones reducidas.

Gran capacidad productiva.

Humedad de +50% a +95%.

Ciclo día.

Ciclo noche.

Capacidad productiva de almacenamiento en estantes 8 m².

Temperatura y humedad controladas por medio de un panel electrónico de fácil ajuste y visualización continua de los parámetros impostados con posibilidad de cambiar la graduación automáticamente del día a la noche.

Iluminación programable en la fase diurna.

Colocación de las plantas sobre un carro extraíble idóneo incluido en la cámara.

Alimentación: 380 v.

Cámaras para germinación de semillas (Figura 1.1) S.E CCI cámaras climáticas (marca registrada).

Características:

Simular condiciones ambientales variables de temperatura y humedad,

Radiaciones solares y atmósferas gaseosas modificadas (ozono, CO_2 , etc.,)

Sistemas de iluminación fotosintéticamente activa, basados en la tecnología optoelectrónica, se seleccionan en base a clorofilas, carotenoides, etc., con controles precisos del espectro de la radiación y la intensidad, fotoperiodo y localización geográfica.



Figura 1. 1 Cámara de germinación CC1

La cámara de crecimiento con la que cuenta la UAQ campus Amazcala, en la que simula la temperatura en un rango de 15°C a 30 °C, humedad del 60% al 95% y

CO_2 50% al 94%, con programación de número de horas, con un control difuso (Heerver, 2010).

1.2 Descripción del problema

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro campus Amazcala cuenta con una cámara de germinación, la cámara controla la temperatura de 15-25°C (No homogénea) y humedad de 60 a 95% mediante un control difuso instalado en una pc, dado que las condiciones eléctricas ahí no son buenas una vez que se va luz hay que reiniciar todo el sistema. En la cámara de germinación se colocan las bandejas para que germine la semilla y una vez que germinan son llevadas al exterior para que continúe su crecimiento. Esta herramienta limita la línea de investigación ya que está enfocada solamente a crear condiciones óptimas para la germinación, analizando que las variables manipuladas no son las suficientes para emplearla en la investigación científica en etapas posteriores de la planta. Para incrementar el conocimiento del comportamiento de las plantas es necesario controlar las condiciones ambientales tales como luz, temperatura, humedad, CO_2 , se conocen algunas respuestas de las plantas a diferentes condiciones de estas variables pero aún falta por estudiarlas, el costo de las cámaras existentes son muy elevados y no cubren todas las necesidades de manipulación de estas variables por lo que surge la necesidad de la implementación y el mejoramiento de la tecnología para el manejo de estas condiciones ambientales y de esta forma incrementar el conocimiento de las plantas para su mejor estudio.

1.3 Justificación

Las plantas están expuestas a condiciones ambientales que no pueden ser controladas y son muy poco predecibles, aun en invernadero las condiciones no son homogéneas y dependen del clima. Es necesario tener un recinto en donde las condiciones ambientales como temperatura, humedad, intensidad lumínica y cantidad de CO_2 sean controladas, manipulables y reproducibles continuamente para garantizar los resultados de la experimentación. Para hacer esto se puede hacer uso de la tecnología existente como sistemas de refrigeración y calefacción, en el caso de la humedad uso de humidificadores y deshumidificadores, para la luz el uso de LED's ya que presentan mejores condiciones de luz y menor consumo de energía que las lámparas de gas o las convencionales.

1.4 Hipótesis y Objetivos

Hipótesis

Mediante automatización se logrará controlar eficientemente las variables ambientales de la cámara de experimentación en plantas, obteniendo una herramienta confiable para la experimentación.

Objetivo general

Automatizar la cámara de crecimiento para control de la temperatura, humedad, luz y CO₂ instalada en la FIUAQ campus Amazcala. Creando una herramienta confiable para la experimentación que sea capaz de simular condiciones ambientales que se dan cotidianamente.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Variables climáticas

Existe una ciencia encargada de estudiar las condiciones meteorológicas, climáticas, hidrológicas y la relación que existe en la producción agrícola llamada agrometeorología (Castillo, 2001). Las variables climáticas son las condiciones que afectan a favor o en contra del desarrollo de las plantas, tales como temperatura, humedad, radiación solar, viento, lluvia, granizo entre otras.

2.2 Temperatura

Es la magnitud escalar que refiere al calor o frío. En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de temperatura es el Kelvin. Sin embargo existen escalas de

temperatura más comunes como es el uso del Celsius y en los países anglosajones, el Fahrenheit. La temperatura se mide con termómetros, los cuales son calibrados de acuerdo a las diferentes escalas que dan lugar a las unidades de medición de la temperatura (McQuinston et al., 2003).

Existen varios factores que modifican la temperatura de un lugar como:

- Altitud: cuanto mayor sea la altitud sobre el nivel del mar, menor es la temperatura.
- Vientos: los vientos cálidos aumentan la temperatura y los fríos la disminuyen.
- Topografía: a menor relieve mayor circulación de los vientos, tanto fríos como cálidos, dependiendo las variaciones térmicas del predominio que ejerce un viento sobre otro.
- Distancia del mar: cuanto más alejada del mar está la zona, mayor es la amplitud térmica
- Corrientes marinas: estas elevan o disminuyen de acuerdo a la temperatura del agua que desplazan.

2.3 Humedad Relativa

La Humedad Relativa (RH, por sus siglas en inglés) se expresa en % y consiste en la cantidad máxima de agua que admite el aire por unidad de volumen sin producir condensación (ecuación 1), esta unidad es útil como indicador de evaporación, transpiración y probabilidad de lluvia convectiva y depende de la temperatura ambiental.

$$RH = \frac{P_e}{P_s} \times 100\% \quad (1)$$

Pe = presión de vapor a la temperatura "T"

Ps = presión de saturación a la temperatura "T"

2.4 Luz

Es una radiación electromagnética, esta radiación puede ser proveniente del sol o de lámparas de diferentes tipos por ejemplo Lámparas de alta intensidad (HDI, por sus siglas en inglés), Diodo Emisor de Luz (LED, por sus siglas en inglés) por mencionar algunas, la radiación varía en duración, calidad (longitud de onda o color), e intensidad (cantidad de luz por longitud de onda). La radiación fotosintética se le conoce como Radiación Fotosintética Activa (PAR, por sus siglas en inglés), que es la luz con una longitud de onda entre 400 y 700 nm, es una luz perceptible por el hombre, al incrementar la energía en el rango PAR se incrementa la fotosíntesis en las plantas, cada especie de cultivo tiene una intensidad de luz óptima para maximizar la fotosíntesis y el crecimiento de la planta, cuando no existe suficiente luz el crecimiento y la calidad de las plantas declina, y si es excesiva no hay mayor incremento de lo normal.

Las unidades más comunes para medir la luz son pie-candela y lux, ambas unidades indican la intensidad de luz instantánea en el momento de la medición, estas unidades no representan con precisión la cantidad de luz que necesitan las plantas durante todo el día, ya que dicha intensidad está variando durante todo el día, los investigadores en horticultura miden la luz instantánea en micro moles por metro cuadrado por segundo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de PAR, esta unidad cuántica, cuantifica el número de fotones usados en la fotosíntesis que caen en un metro cuadrado por cada segundo, la Luz Diaria Integrada (DLI, por sus siglas en inglés) es la cantidad de PAR recibida cada día como función de la intensidad de luz y la duración ($\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) a continuación se muestra la tabla 1 con los requerimientos de luz de algunos cultivos (Torres y Lopez, 2010).

Tabla 1 . Requerimientos de DLI

Especie	Promedio de Luz Diaria Integrada (en moles por día)														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Helechos (Pteris Adiantum)	Yellow	Green	Red	Red	Red										
Phalaenopsis (orquídea)	Yellow	Green	Red	Red	Red										
Violetas	Yellow	Green	Red	Red	Red										
Anturios	Yellow	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Jacintos	Yellow	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Narcisos	Yellow	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Tulipanes	Yellow	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Pelargonium peltatum (geranios)		Yellow	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Lirios (asiatico y oriental)			Yellow	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Lirios de pascua			Yellow	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Ageratum			Yellow	Yellow	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Antirrhinum			Yellow	Yellow	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Chrysanthemum (en maceta)			Yellow	Yellow	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Gazania			Yellow	Yellow	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Gerbera			Yellow	Yellow	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Hibiscus rosa-siniensis			Yellow	Yellow	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Rosa (miniatura en maceta)			Yellow	Yellow	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Alstroemeria (flores de corte)					Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red
Capsicum (pimiento)					Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red
Crisantemos (flores de corte)					Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red
Dianthus (clavel)					Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red
Gladiolus (flores de corte)					Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red
Lycopersicon (tomate)					Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red
Rosas (flores de corte)					Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red
Calidad mínima aceptable															
Buena calidad															
Alta calidad															
Fuente: Torres y Lopez, 2010															

2.5 Dióxido de carbono

Conocido también como óxido de carbono o anhídrido carbónico, es un gas cuya fórmula es CO_2 , utilizado en extinguidores de fuego, bebidas carbonatadas, en agricultura como regulador de pH y hace más asimilables ciertos compuestos, y es esencial para la fotosíntesis, proceso por el cual la energía luminosa se convierte en energía química (Zeigler 2006).

Durante la germinación las células gastan energía, el requerimiento energético de las células vivas se mantiene generalmente por procesos de oxidación, y en la presencia o ausencia de oxígeno el intercambio de gases es una liberación de bióxido de carbono en ambos casos y una entrada de oxígeno en caso de la respiración. Por lo tanto, la germinación es afectada por la composición de los gases circundantes. La mayoría de las semillas germinan en una atmósfera que contenga 20% de oxígeno y un bajo porcentaje de 0.03% de bióxido de carbono. La mayoría de las semillas presentarán valores menores de germinación si el oxígeno disminuye. En cambio, la mayoría de las semillas no germinarán si aumenta mucho el bióxido de carbono.

Concentraciones más altas de CO_2 , incrementa el rendimiento del cultivo en el verano, la concentración atmosférica de CO_2 en el invernadero aumenta la velocidad de la fotosíntesis y la cantidad total de azúcar producida por el cultivo.

El CO_2 es esencial para que se produzca la fotosíntesis. Las plantas toman CO_2 del aire y agua de las raíces y luego utilizan energía luminosa para transformar estos componentes en azúcar (carbohidratos) y oxígeno. Si no existe un suministro de CO_2 adecuado y disponible para las plantas, el ritmo de fotosíntesis se reduce.

Una concentración óptima de CO_2 tendrá un efecto positivo en desarrollo y vigor de la planta en general y en tamaño de fruto en particular. El uso de CO_2 en el invernadero, dependiendo de la concentración, provoca una fuerte influencia generativa en las plantas, dando como resultado una floración prematura (las flores se abren más cerca de la punta de la planta de tomate), desarrollo de flores más fuerte y rendimiento de frutos más alto en cuanto a tamaño y peso de frutos.

El punto de entrada del CO_2 está formado por células especiales que se encuentran en el envés de las hojas. La apertura y el cierre de estas células depende de la concentración de CO_2 en el exterior de las hojas, nivel de luminosidad, temperatura de la hoja y del ambiente, humedad relativa y estrés hídrico. Cuanto mayor sea la concentración de CO_2 en el exterior de las hojas, mayor será la toma de CO_2 por las plantas.

Se recomienda reducir la concentración de enriquecimiento con CO_2 a 450-550 partes por millón (ppm) cuando la intensidad luminosa supera 750 W. Éste es el punto de saturación luminosa en el cultivo de tomate.

El enriquecimiento de CO_2 agrega kilogramos al rendimiento. Sin dicho enriquecimiento, un cultivo activo fotosintéticamente podría reducir los niveles de CO_2 a menos de 120 ppm, dicha concentración es la mínima para la fotosíntesis del tomate, incluso cuando la ventilación máxima permite la entrada de CO_2 del exterior.

Investigaciones han revelado que el enriquecimiento con CO_2 a niveles de 375, 450 y 525 ppm incrementó el rendimiento total en tomates y pepinos. En los tres años de duración del experimento, el rendimiento de fruto de tomate comercializable se incrementó en 2.65 (+/-0.201) kg/m² por cada 100 ppm agregados al promedio de concentración de CO_2 sobre 340 ppm, que es la concentración que se produce en el aire de forma natural (a nivel de ambiente). Con respecto a los pepinos, la respuesta fue cerca del doble que para el tomate, con 5.43 (+/-0.455) kg/m² por cada incremento de 100 ppm en la concentración promedio de CO_2 .

Las pérdidas en el rendimiento de tomate serán de aproximadamente 2.5 a 5% por cada descenso de 35 a 70 ppm en la concentración de CO_2 por debajo de los niveles del ambiente. En consecuencia, el productor debe prevenir el descenso de los niveles de CO_2 en el invernadero por debajo de 350 ppm, lo cual consigue con el enriquecimiento con CO_2 . Si los niveles de CO_2 en el interior y el exterior del invernadero son similares, habrá escaso o nulo intercambio neto del gas. Como

resultado, no hay razón para no enriquecer con CO_2 , incluso si las ventilas están abiertas del 15 al 20%.

Las plantas son más activas fotosintéticamente durante las primeras cuatro a cinco horas después del alba y cuando la temperatura del tejido es igual o superior a $19^{\circ}C$. En este punto es cuando es necesario mantener los niveles más altos de CO_2 (800-900 ppm) en el invernadero. Cuando las plantas están estresadas se recomienda reducir o detener el enriquecimiento con CO_2 y mantener un nivel de 350 ppm a través de ventilación natural (si las ventilas están completamente abiertas) (Marlow, 2011).

2.6 Sensores

El sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas (Grimes et al., 2006). Los sensores nos sirven para medir la variable deseada entregando una señal eléctrica, esta es acondicionada y procesada para su posterior interpretación. Existen una gran variedad de sensores de acuerdo a las necesidades que se tengan, de humedad, temperatura, intensidad lumínica, presión atmosférica, velocidad entre otros. En la actualidad existen biosensores, son sistemas analíticos que acoplan un elemento biológico sensible con un transductor para obtener información de un ser vivo (Castro et al., 2007).

Tipos de sensores por el principio físico:

- Resistivo
- Capacitivo
- Inductivo
- Piezorresistivo
- Fotovoltaico
- Electromagnético
- Termomagnético
- Piezoeléctrico.

Tipo de sensores por salida:

- Eléctrica: activo, pasivo
- Mecánica

2.7 Tipos de control

Control clásico

- Control de dos posiciones (todo-nada ,on-off)

El modo de control ON/OFF es el más elemental y consiste en activar el mando de calentamiento cuando está por debajo de lo deseado set point (sp) y luego desactivarlo cuando esté por arriba (figura 2.1). Las fluctuaciones aumentarán cuanto mayor sea la inercia térmica (retardo).

Este control no es el más adecuado cuando se desea una temperatura constante y uniforme.

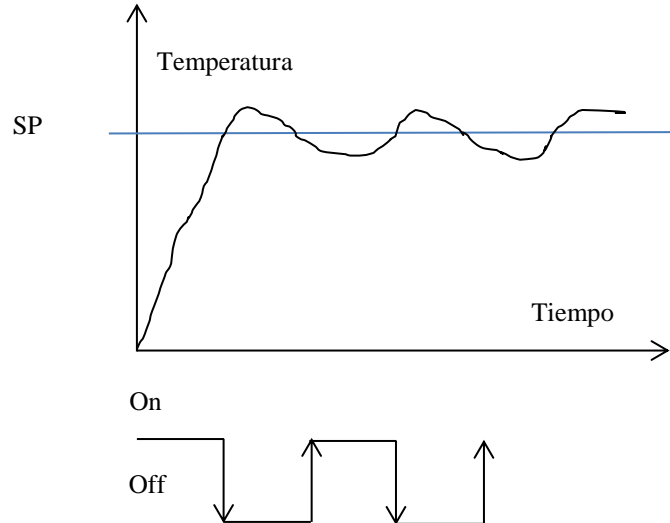


Figura 2. 1 Control On/Off

- Proporcional de tiempo variable (PWM)

El controlador proporcional entrega una potencia que varía en forma gradual entre 0 y 100% según se requiera y en forma proporcional al error (sp – variable e proceso PV). Modular el tiempo de activación del contactor durante un tiempo fijo tiempo de ciclo (tc), de modo que reciba finalmente un promedio de la potencia.

- Proporcional (P)

El controlador proporcional entrega una potencia que varía en forma proporcional al error (SP-PV). La banda proporcional (Pb) se programa en el controlador como un porcentaje del SP ver formulas siguientes.

$$Out = [100\% * E / banda] \quad (2)$$

$$banda = Pb * SP / 100\% \quad (3)$$

$$E = (SP - PV) \quad (4)$$

E = error

- Proporcional + Integral (PI)

Este control es el proporcional más la acción integral, que lo corrige tomando en cuenta la magnitud del error y el tiempo que este ha permanecido.

Para ello se le programa al control una constante I, que es "la cantidad de veces que aumenta la acción proporcional por segundo". Por muy pequeño que sea el valor programado de I, siempre corregirá el error estacionario, pero tardará más tiempo en hacerlo. Al revés si se programa un valor excesivo de I, entonces la acción integral tendrá mucha fuerza en la salida y el sistema alcanzará rápidamente el sp, pero lo más probable es que siga de largo por efectos de la inercia térmica. Entonces la acción integral (con error negativo) será en sentido contrario, irá disminuyendo rápidamente de acuerdo al error.

Como consecuencia habrá una excesiva disminución de la potencia de salida y la temperatura probablemente baje del sp, entrando así el sistema en un ciclo oscilatorio. En la práctica normalmente I deberá ser grande solo en sistemas que reaccionan rápidamente, (por ejemplo controles de velocidad de motores) y pequeño para sistemas lentos con mucha inercia. (Por ejemplo hornos) En general los valores de la constante I son relativamente pequeños, para la mayoría de los sistemas el valor adecuado de I varía entre 0 y 0,08

- Proporcional + Derivativo (PD)

Un control PD es uno proporcional al que se le agrega la capacidad de considerar también la velocidad de la temperatura en el tiempo. De esta forma se puede "adelantar" la acción de control del mando de salida para obtener así una temperatura más estable. Si la temperatura está por debajo del sp, pero subiendo muy rápidamente y se va a pasar de largo el sp, entonces el control se adelanta y disminuye la potencia de los calefactores. Al revés si la temperatura es mayor que el sp, la salida debería ser 0% pero si el control estima que la temperatura baja muy rápido y se va a pasar para abajo del sp, entonces le coloca algo de potencia a la salida para ir frenando el descenso brusco.

La acción derivativa es llamada a veces "rate action" por algunos fabricantes de controles porque considera la "razón de cambio" de la temperatura. Existe un nuevo parámetro llamado constante derivativa D, medido en segundos.

El controlador realizará ahora el cálculo:

$$Out = [100\% * (E - D * Vel) / (banda)] \quad (5)$$

$$banda = Pb * SP / 100\% \quad (6)$$

Donde "Vel" es la velocidad de la temperatura medida por el controlador, en °C/seg.

- Proporcional + Integral + Derivativo (PID)

Un control PID es un controlador proporcional con acción derivativa y acción integral simultáneamente superpuestas. Existe un solo conjunto de valores P , D , I que darán el rendimiento óptimo para un sistema y encontrarlos requiere: conocimientos teóricos, habilidad, experiencia y suerte

- Sistema experto

Es una aplicación capaz de solucionar problemas que exigen un conocimiento sobre un determinado tema, se considera una rama de la inteligencia artificial, estos sistemas imitan las actividades humanas para resolver problemas, se basa en el conocimiento de objetos o situaciones y el conocimiento de control. Siguen ciertas reglas basadas en hechos y deben ser capaz de adquirir nuevos conocimientos e integrarlos al sistema (García et al, 2003).

Los sistemas expertos abarcan muchas disciplinas, una de ellas es el procesamiento de la información en la mente humana, llamada ciencia cognitiva (Adarraga y Zaccagnini, 1988), que se basa en como los humanos procesan la información, especialmente para resolver problemas. El sistema experto depende de un humano especialista que transmite su conocimiento al sistema, y el usuario lo utiliza para resolver problemas con la eficacia del especialista, un sistema experto puede definirse como “un programa de computador que resuelve problemas que requieren experiencias humana, mediante el uso de representación del conocimiento y procedimientos de decisión” (Kastner y Hong, 1984).

Características de un sistema experto

1. Dominio: Se especializan en un campo limitado.
2. Colección integrada de conocimientos: El sistema representa los juicios de muchos expertos, estas experiencias son usadas por expertos o no, el sistema permite un constante intercambio de datos.
3. Competencia en su campo: Los sistemas expertos están aplicados en varios problemas del mundo real, tales como interpretación, predicción,

diagnostico, diseño, planificación, monitorización, depuración, reparación, instrucción y control (Garcia y Britos, 2004).

4. Separación conocimiento / inferencia: Existe una separación entre el conocimiento y el mecanismo de razonamiento, los elementos que los constituyen son independientes uno del otro.
5. Capacidad de inferencia educativa: No solo son capaces de recuperar información almacenada en base de datos, si no tomar decisiones usando la información.
6. Carácter declarativo: El programa se escribe regido de ciertas especificaciones relacionadas o no una de otra.
7. Capacidad de explicación relativa: Al tener explícitamente el conocimiento el sistema puede “reflexionar” sobre la información que posee y como la ha utilizado.
8. Flexibilidad en diálogo: Generar preguntas de acuerdo con el razonamiento.
9. Tratamiento de la incertidumbre.

En la figura 2.2 se muestra el diagrama a bloques de un sistema experto.

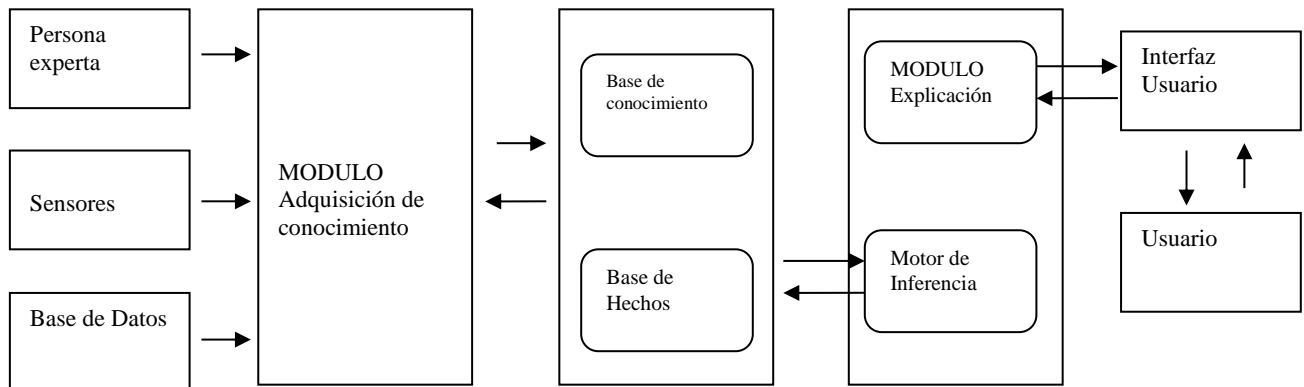


Figura 2. 2 Sistema experto

2.8 Microcontrolador

Recibe el nombre de controlador el dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos. Aunque el concepto de controlador ha permanecido invariable a través del tiempo, su implementación física ha variado frecuentemente. Hace tres décadas, los controladores se construían

exclusivamente con componentes de lógica discreta, posteriormente se emplearon los microprocesadores, que se rodeaban con circuitos de memoria y E/S sobre una tarjeta de circuito impreso. En la actualidad, todos los elementos del controlador se han podido incluir en un circuito, el cual recibe el nombre de microcontrolador. Realmente consiste en un sencillo pero completo computador contenido en el corazón de un circuito integrado. Un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador. Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes: Procesador o Unidad Central de Proceso (UCP). Memoria RAM para contener los datos. Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM. Líneas de E/S para comunicarse con el exterior. Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, Puertas Serie y Paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.). Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema. Los productos que para su regulación incorporan un microcontrolador disponen de las siguientes ventajas:

- Aumento de prestaciones: un mayor control sobre un determinado elemento, representan una mejora considerable en el mismo.
- Aumento de la fiabilidad: al reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.
- Reducción del tamaño en el producto acabado: La integración del microcontrolador en un circuito disminuye el volumen, la mano de obra y los almacenes.
- Mayor flexibilidad: las características de control están programadas, por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.

El microcontrolador es en definitiva un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador.

2.8 LCD 4X20

Una pantalla de cristal líquido o LCD (acrónimo del inglés Liquid Crystal Display) es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.

Cada píxel de un LCD típicamente consiste de una capa de moléculas alineadas entre dos electrodos transparentes, y dos filtros de polarización, los ejes de transmisión de cada uno están (en la mayoría de los casos) perpendiculares entre sí. Sin cristal líquido entre el filtro polarizante, la luz que pasa por el primer filtro sería bloqueada por el segundo (cruzando) polarizador.

La superficie de los electrodos que están en contacto con los materiales de cristal líquido es tratada a fin de ajustar las moléculas de cristal líquido en una dirección en particular. Este tratamiento normalmente consiste en una fina capa de polímero que es unidireccionalmente frotada utilizando, por ejemplo, un paño. La dirección de la alineación de cristal líquido se define por la dirección de frotación.

Antes de la aplicación de un campo eléctrico, la orientación de las moléculas de cristal líquido está determinada por la adaptación a las superficies. En un dispositivo "twisted nematic", TN (uno de los dispositivos más comunes entre los de cristal líquido), las direcciones de alineación de la superficie de los dos electrodos son perpendiculares entre sí, y así se organizan las moléculas en una estructura helicoidal, o retorcida. Debido a que el material es de cristal líquido birefringente, la luz que pasa a través de un filtro polarizante se gira por la hélice de cristal líquido que pasa a través de la capa de cristal líquido, lo que le permite pasar por el segundo filtro polarizado. La mitad de la luz incidente es absorbida por el primer filtro polarizante, pero por lo demás todo el montaje es transparente.

Cuando se aplica una tensión a través de los electrodos, una fuerza de giro orienta las moléculas de cristal líquido paralelas al campo eléctrico, que distorsiona la estructura helicoidal (esto se puede resistir gracias a las fuerzas elásticas desde que las moléculas están limitadas a las superficies). Esto reduce la rotación de la

polarización de la luz incidente, y el dispositivo aparece gris. Si la tensión aplicada es lo suficientemente grande, las moléculas de cristal líquido en el centro de la capa son casi completamente desenrolladas y la polarización de la luz incidente no es rotada ya que pasa a través de la capa de cristal líquido. Esta luz será principalmente polarizada perpendicular al segundo filtro, y por eso será bloqueada y el pixel aparecerá negro. Por el control de la tensión aplicada a través de la capa de cristal líquido en cada píxel, la luz se puede permitir pasar a través de distintas cantidades, constituyéndose los diferentes tonos de gris.

El efecto óptico de un dispositivo TN en el estado de la tensión es mucho menos dependiente de las variaciones de espesor del dispositivo que en el estado de la tensión de compensación. Debido a esto, estos dispositivos suelen usarse entre polarizadores cruzados de tal manera que parecen brillantes sin tensión (el ojo es mucho más sensible a las variaciones en el estado oscuro que en el brillante). Estos dispositivos también pueden funcionar en paralelo entre polarizadores, en cuyo caso la luz y la oscuridad son estados invertidos. La tensión de compensación en el estado oscuro de esta configuración aparece enrojecida debido a las pequeñas variaciones de espesor en todo el dispositivo. Tanto el material del cristal líquido como el de la capa de alineación contienen compuestos iónicos. Si un campo eléctrico de una determinada polaridad se aplica durante un período prolongado, este material iónico es atraído hacia la superficie y se degrada el rendimiento del dispositivo. Esto se intenta evitar, ya sea mediante la aplicación de una corriente alterna o por inversión de la polaridad del campo eléctrico que está dirigida al dispositivo (la respuesta de la capa de cristal líquido es idéntica, independientemente de la polaridad de los campos aplicados).

En la figura 2.3 se muestra un display de LCD



Figura 2. 3 Display LCD 4x20

III. METODOLOGIA

3.1 Ubicación

La cámara de experimentación pertenece a la Universidad Autónoma de Querétaro de la facultad de Ingeniería en el Campus Amazcala, ubicada en el municipio del Márquez, Qro. Con acceso por medio de la carretera 57, carretera a Chichimequillas y México ver figura 3.1.

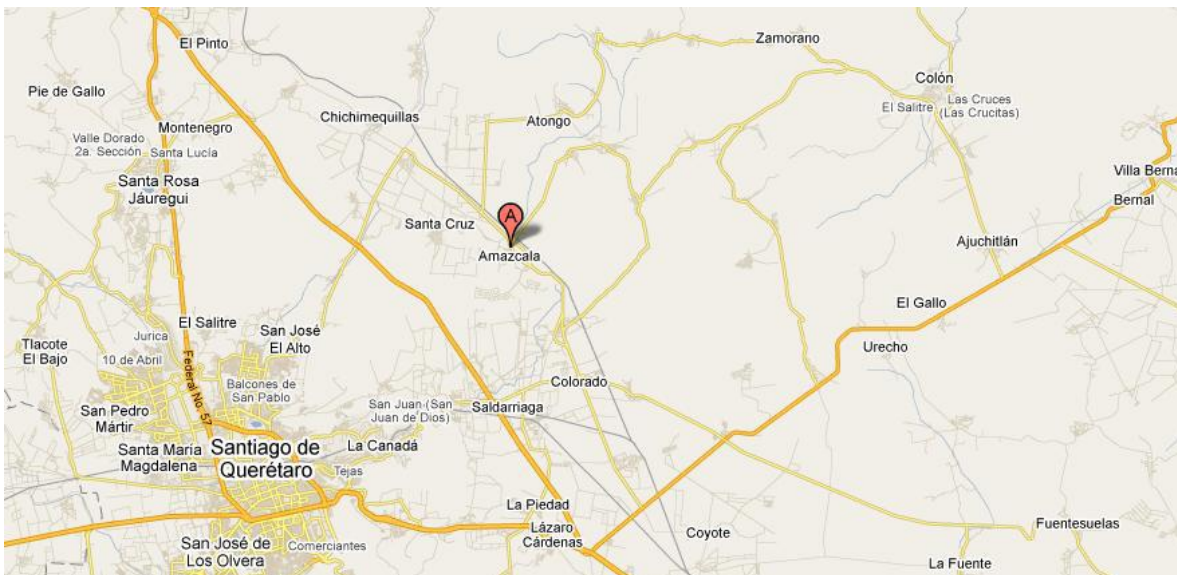


Figura 3. 1 Ubicación del campus Amazcala Google Maps.

3.2 Especificaciones de la cámara

La cámara está construida sobre firme de tepetate, suelo en concreto con piso de azulejo, esta precedido de un cuarto de control, la cámara está construida con muros y el techo de tabiques de concreto hueco con enjarre y sobre el enjarre una capa de poliuretano de 2 pulgadas como aislante, la cámara tiene una puerta térmica para refrigeración separar del cuarto de control de la cámara de 90cm x 190cm ver figura 3.2, las medidas del recinto se muestra en la figura 3.3.

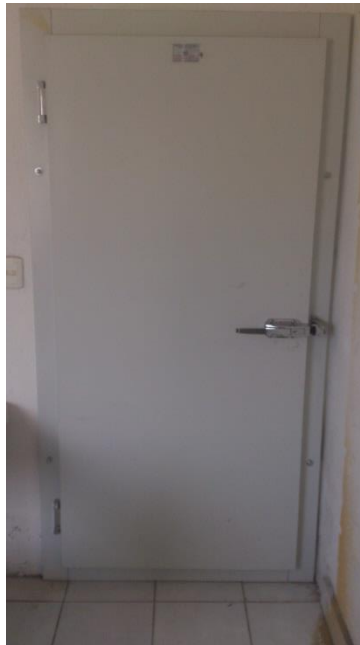


Figura 3. 2 Puerta de Refrigeración

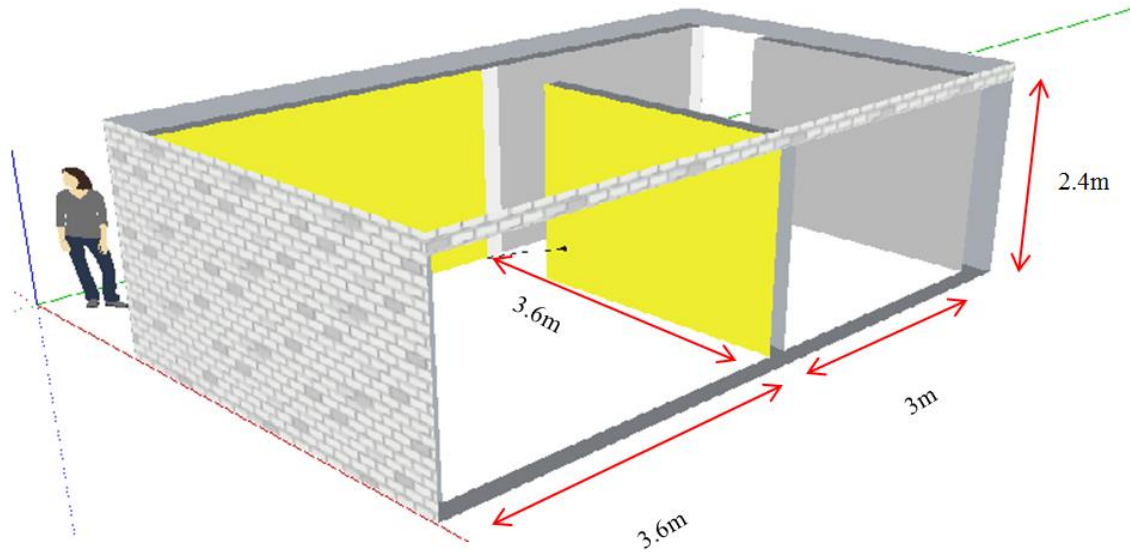


Figura 3. 3 Esquema del cuarto

3.3 Diagrama a bloques del sistema

Representación del sistema figura 3.4

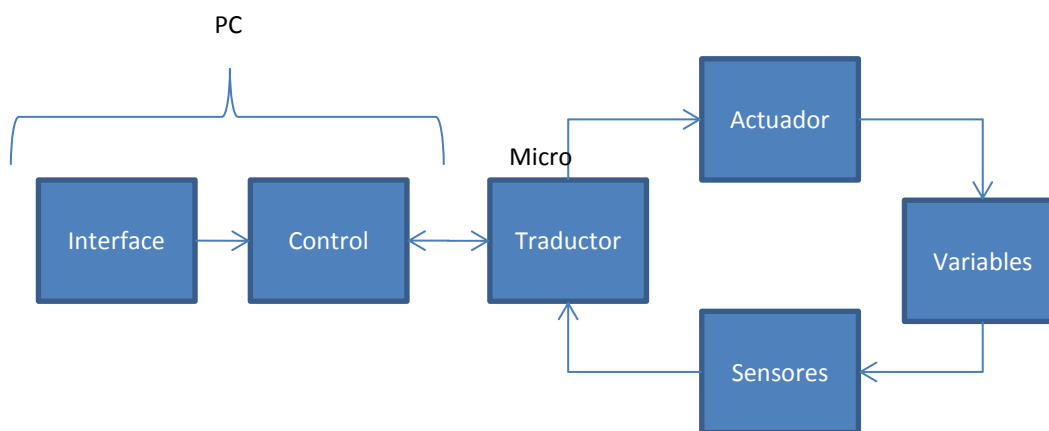


Figura 3. 4 Diagrama a bloques del sistema

3.4 Interface

La interface está desarrollada en la plataforma Java para una PC, en la primer pantalla se muestra el comportamiento de las variables y se conecta con la tarjeta de control figura 3.5.

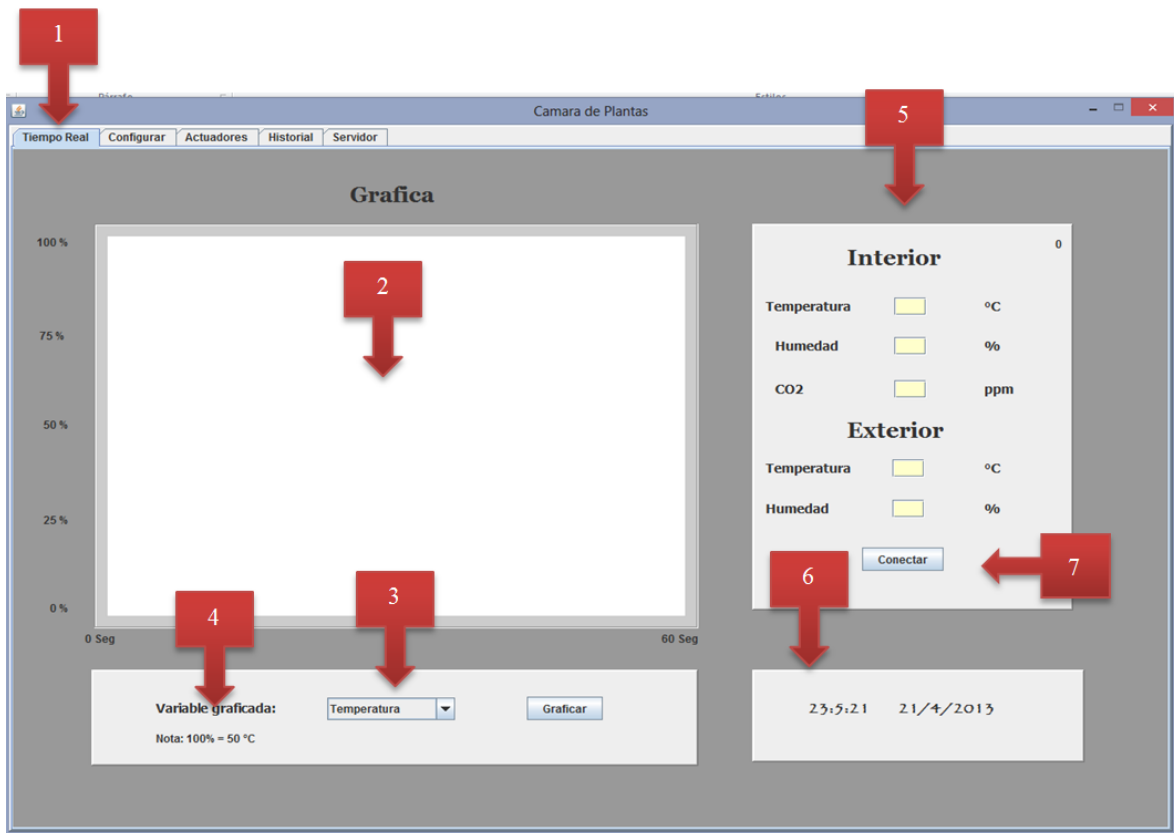


Figura 3. 5 Ventana de inicio.

- 1.- Pestaña para selección y estar viendo la tendencia en tiempo real.
- 2.-Area para estar viendo la gráfica del comportamiento de la variable.
- 3.- Pestaña para seleccionar la variable a graficar.
- 4.-Escala de la gráfica.
- 5.- Visualización de las variables.
- 6.- Fecha y hora.
- 7.-Boton de conectar con la tarjeta de control para comenzar a monitorear.

En la figura 3.6 se muestra la ventana de configuración, esta ventana ayuda al usuario e introducir los valores deseados de los parámetros.

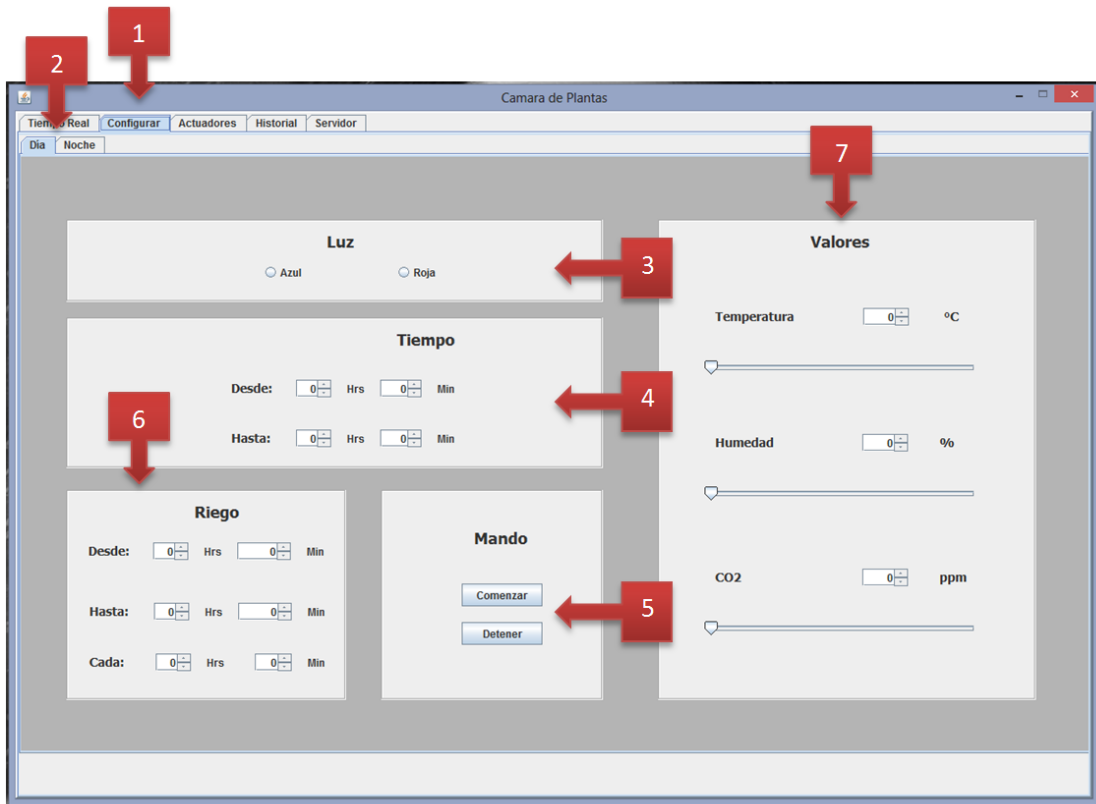


Figura 3. 6 Ventana de configurar

- 1.- Ventana de configurar.
- 2.-Opcion de configurar día y noche.
- 3.-Configurar tipo de luz.
- 4.- Configurar tiempo que estará encendida la luz
- 5.-Botones de comenzar y detener, sirven para mandar información al micro.
- 6.-Control del riego.
- 7.-Se configura cada uno de los valores de temperatura, bióxido de carbono y humedad.

En la figura 3.7 nos muestra la ventana de los actuadores en donde podemos ver el estado en el que se encuentra ya sea prendido o apagado. Esta ventana nos puede servir para ver si está en funcionamiento el sistema sin necesidad de ir a revisar cada actuador.

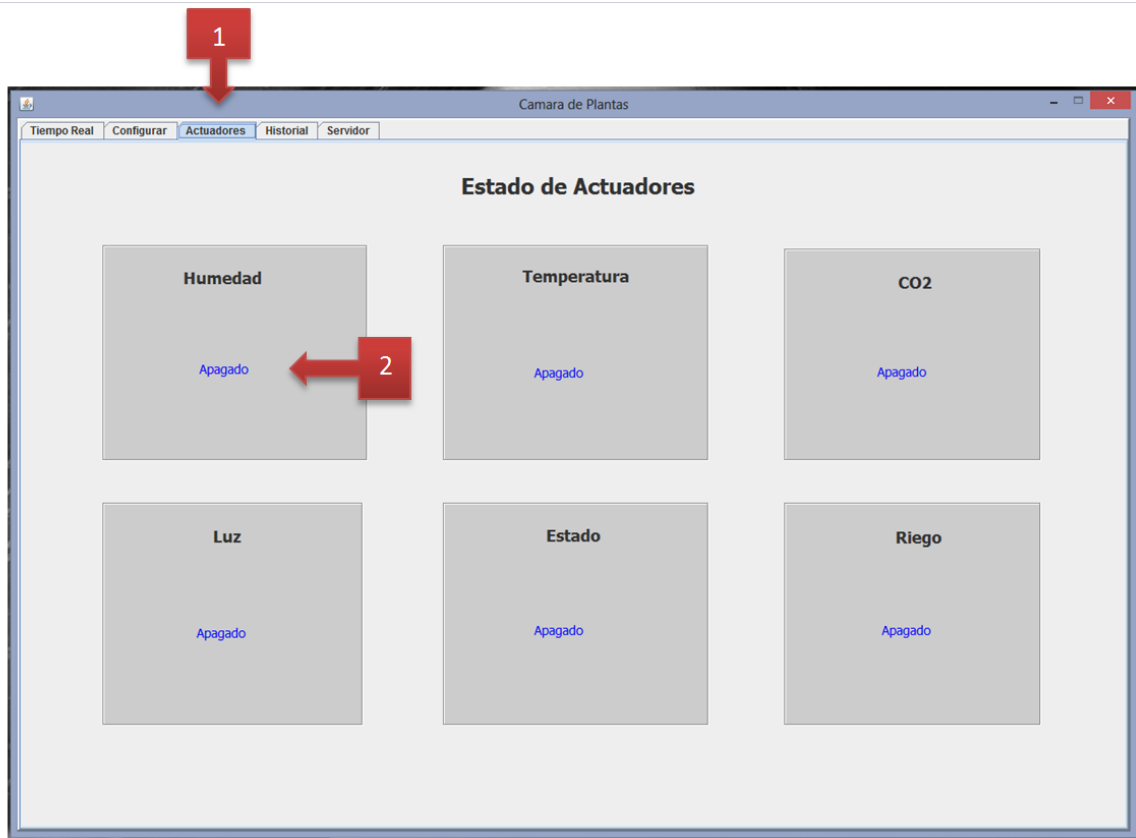


Figura 3. 7 Ventana de Actuadores.

- 1.-Ventana de actuadores.
- 2.-Estado del actuador.

En la ventana del historial, nos va servir para el comportamiento de todas las variables durante un periodo de tiempo que nosotros escojamos esto puede ser para llevar un control de los valores establecidos para la investigación figura 3.8.

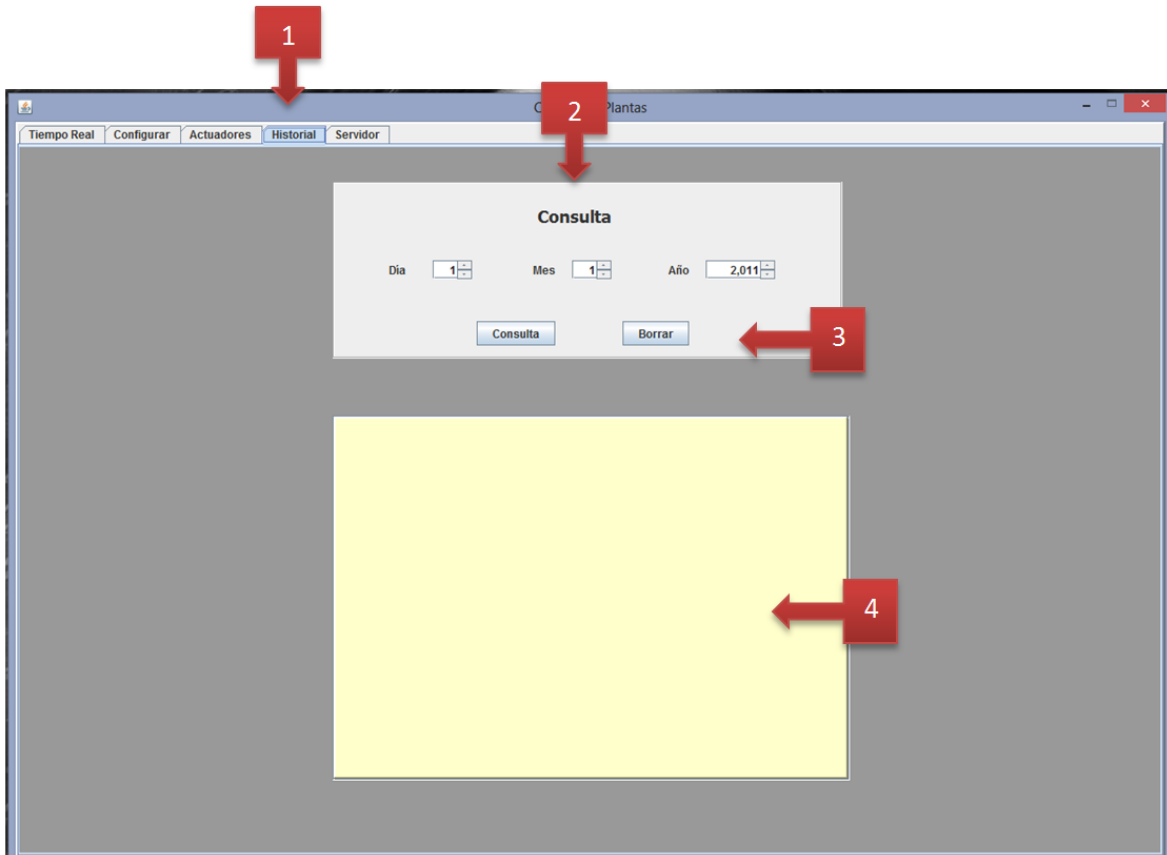


Figura 3. 8 Ventana de Historial.

- 1.- Ventana de Historial.
- 2.- Ventana donde se selecciona el día mes y año de la que se desea ver la consulta.
- 3.- Área donde se muestran los datos obtenidos de la consulta.

En la ventana de servidor nos ayuda a conectar con la otra computadora para estar monitoreando vía internet lo que pasa dentro de la cámara, ver la figura 3.9.

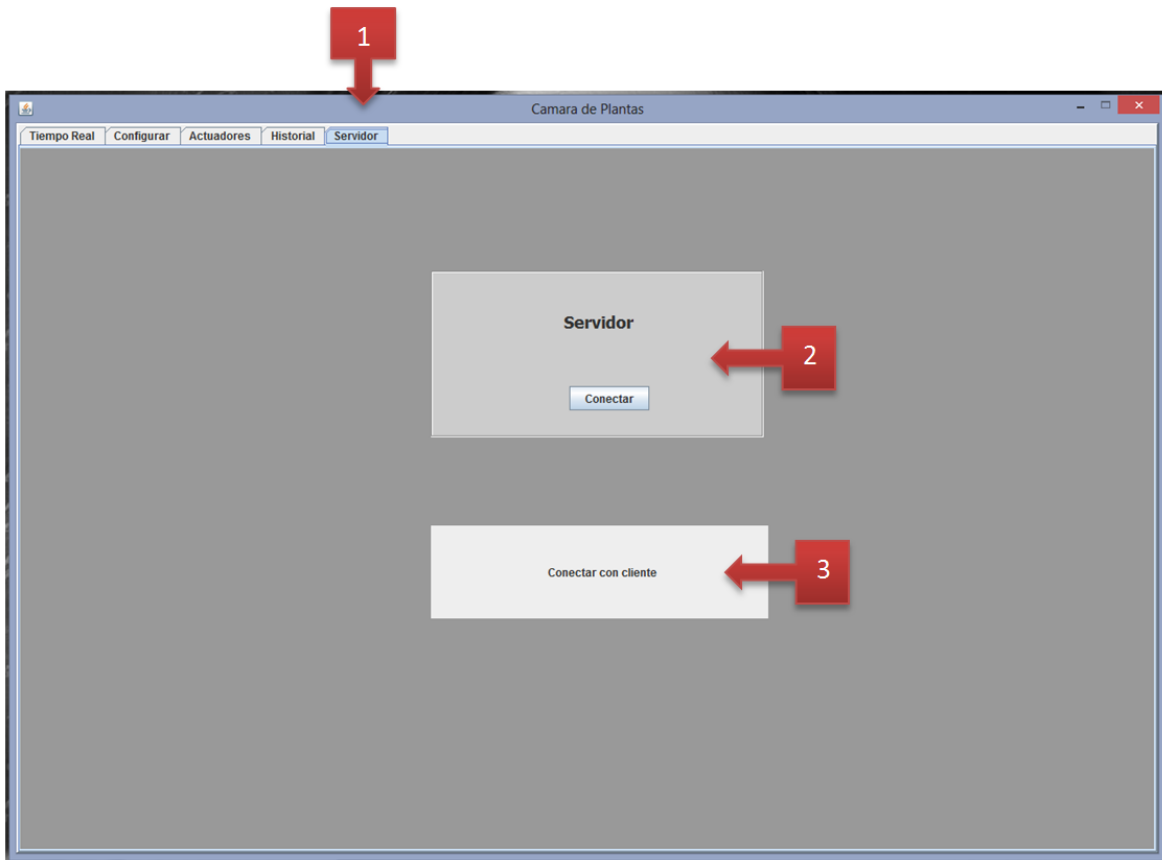


Figura 3. 9 Ventana del Servidor

- 1.-Ventana de servidor.
- 2.-Boton para conectar con el servidor.
- 3.-Estado del servidor.

Interface de monitoreo a distancia, esta ventana nos permite ver el estado de la cámara desde cualquier parte del mundo siempre y cuando tengamos internet figura 3.10.

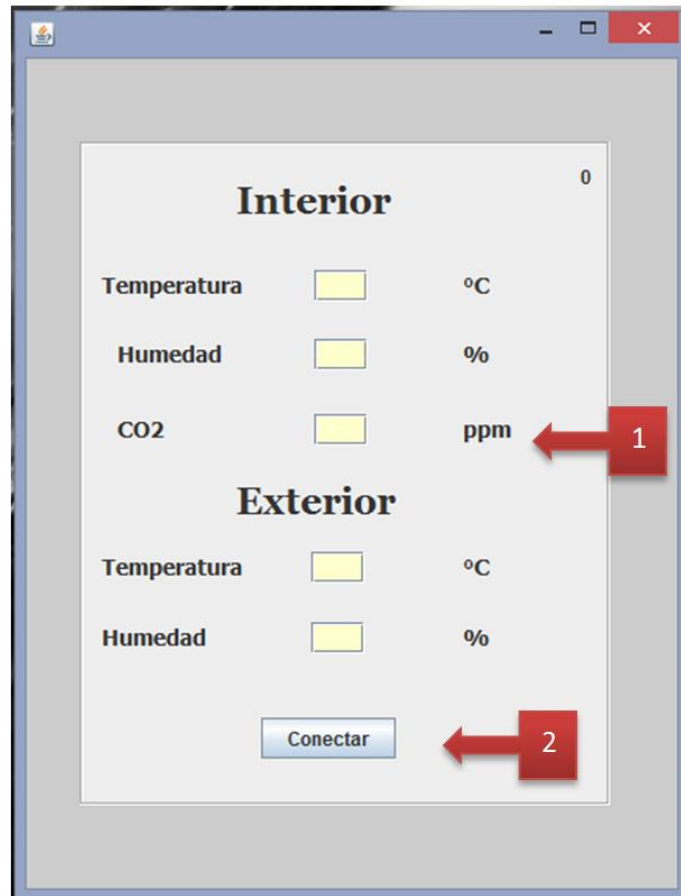


Figura 3. 10 Ventana de monitoreo a distancia.

- 1- Valores de las variables medidos en tiempo real.
- 2.- Botón para conectar con el servidor.

3.4 Control

Tarjeta de control

Por medio de un PIC 18f4550 ver figura 3.11

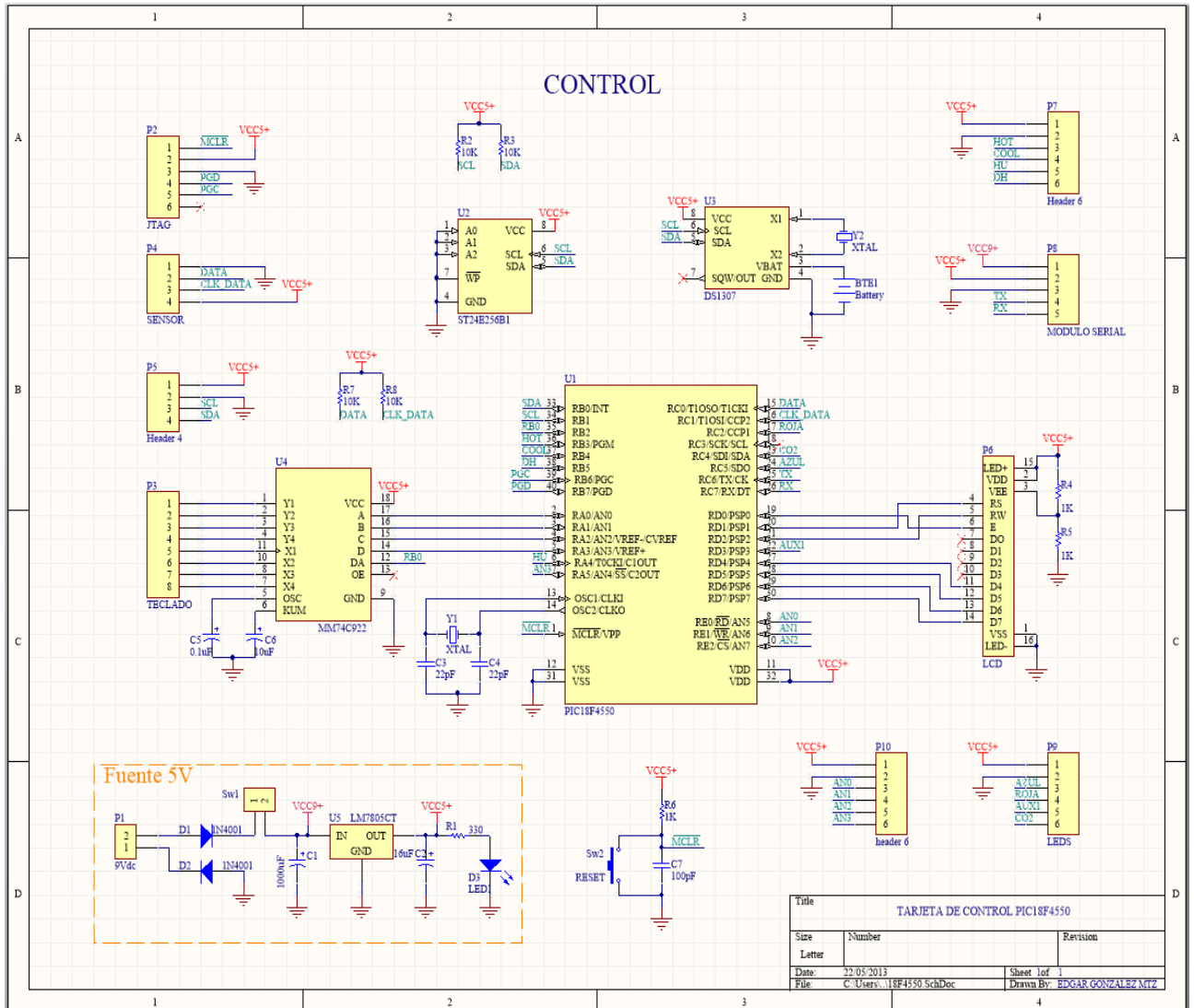


Figura 3. 11 Esquemático de la tarjeta de control.

En la tabla 2 se muestra una lista de los componentes utilizados en la tarjeta de control junto con una descripción.

Tabla 2 Componentes electrónicos de la tarjeta con su descripción.

Elemento	Descripción	Nombre	Footprint	
Battery	Multicell Battery	BTE1	BH-32	1
Cap Pol1	Polarized Capacitor (Radial)	C1	RB5-10.5	1
Cap Pol1	Polarized Capacitor (Radial)	C2, C5, C6	B	3
Cap	Capacitor	C3, C4, C7	cap	3
1N4001	1 Amp General Purpose Rectifier	D1, D2	DO-41	2
LED1	Typical RED GaAs LED	D3	LED-3MM	1
9Vdc	Terminal Atornillable 2 salidas	P1	Bornerax2	1
JTAG	Header, 6-Pin	P2	HDR1X6	1
TECLADO	Header, 8-Pin	P3	HDR1X8H	1
SENSOR	Header, 4-Pin	P4	Bornerax4	1
Header 4	Header, 4-Pin	P5	Bornerax4	1
LCD	Header, 16-Pin	P6	LCD 4X20	1
Header 6	Header, 6-Pin	P7, P10	Bornerax6	2
MODULO SERIAL	Header, 5-Pin	P8	HDR1X5	1
LEDS	Header, 6-Pin	P9	Bornerax6	1
Res1	Resistor	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8	AXIAL-0.3	8
Borne	Terminal Atornillable 2 salidas	Sw1	Bornerax2	1
RESET	Switch	Sw2	PUSH BUTTON 4	1
PIC18F4550	Enhanced FLASH Microcontroller, 8K (x14-Bit words) FLASH, 368 Bytes RAM, 40-Pin PDIP, Standard VDD Range, Extended Temperature	U1	PDIP600-40	1
ST24E256B 1	Serial Access Extended Addressing Compatible with I ² C Bus 256K (32K x 8) EEPROM	U2	DIP8	1
DS1307	64 X 8 Serial Real-Time Clock	U3	DIP8	1
MM74C922	8-Bit A/D Converter	U4	D18A	1
LM7805CT	Series 3-Terminal Positive Regulator	U5	T03B	1
XTAL	Crystal Oscillator	Y1	XTAL-V	1
XTAL	Crystal Oscillator	Y2	HA-C1	1

En la figura 3.12 se muestra el PCB que fue diseñado en Altium Desingner, está diseñada a dos caras y está pensada para instalarla en la puerta del gabinete.

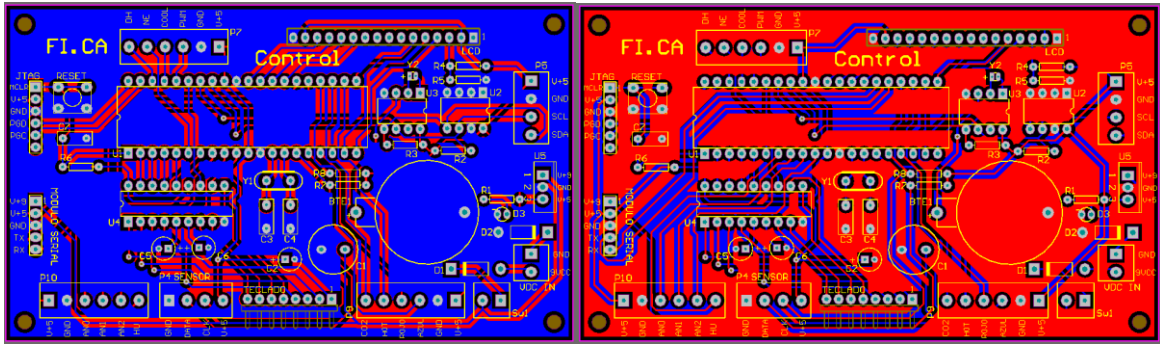


Figura 3. 12 PCB tarjeta de control Bottom Layer.

En la figura 3.13 se muestra el diseño de la tarjeta en 3D como quedo finalmente, esta tarjeta tiene un tamaño de 7.08 cm x 11.07cm esta echa de baquelita cubierta de cobre y se mandó manufacturar.

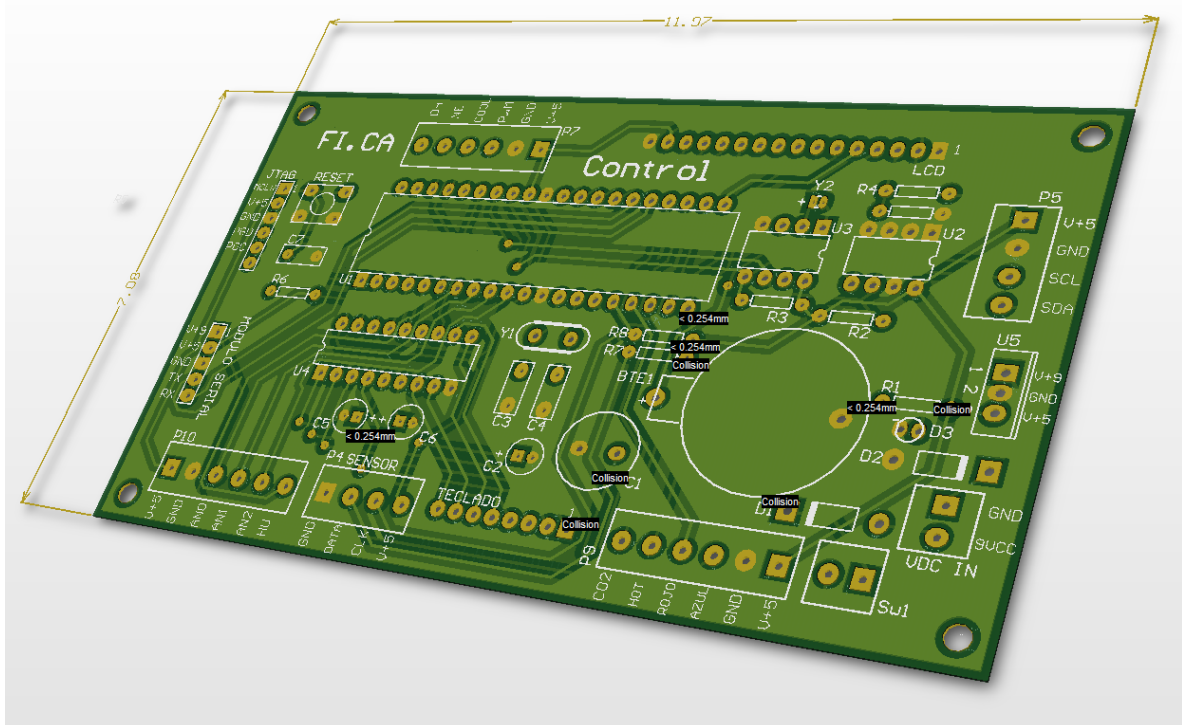


Figura 3. 13 Vista 3D de la tarjeta de control.

Tarjeta de comunicación

Se realiza por medio de comunicación serial Rs-232, se puede hacer inalámbricamente figura 3. 14 o por cable figura 3.15, se muestra el esquemático de cada uno.

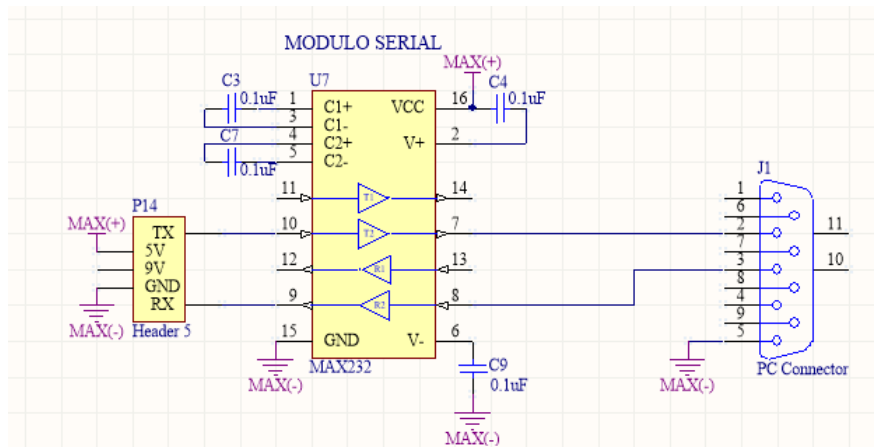


Figura 3. 14 Esquemático de tarjeta para conectar con cable.

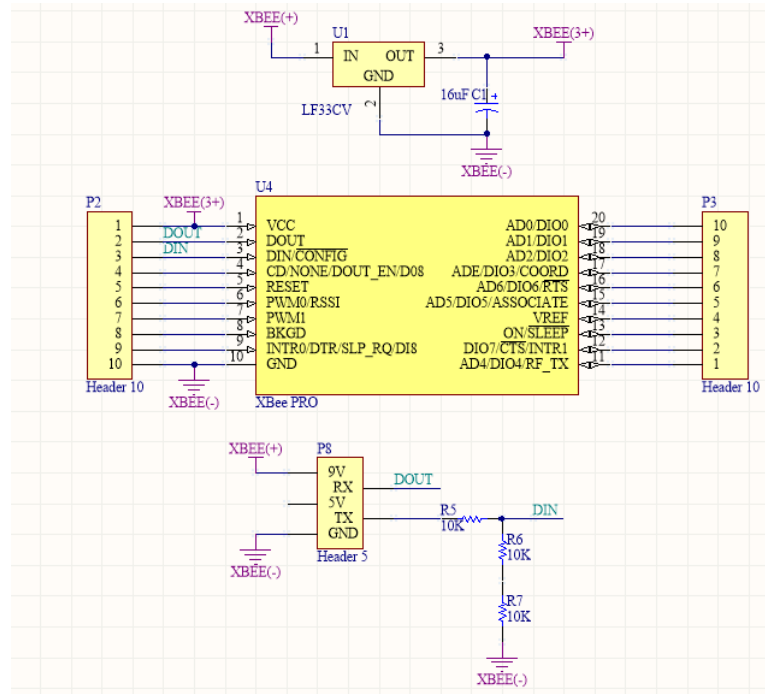


Figura 3. 15 Esquemático de comunicación inalámbrica

Tabla 3 Componentes de las tarjetas de comunicación.

Elemento	Descripción	Asignación	Footprint
Cap Pol1	Polarized Capacitor (Radial)	C1	B
Cap	Capacitor	C3, C4, C7, C9	b
PC Connector	Receptacle Assembly, 9 Position, Right Angle	J1	DSUB1.385-2H9
Header 10	Header, 10-Pin	P2, P3	HDR1X10
Header 5	Header, 5-Pin	P8, P14	HDR1X5
Res1	Resistor	R5, R6, R7	AXIAL-0.3
LF33CV	500mA, Very Low Drop (0.45V) Voltage Regulator	U1	TO-220A
XBee PRO		U4	XBee Pro Module
MAX232	+5V RS-232 Transceiver with 0.1 μ F External Capacitor	U7	PE16A

En la figura 3.16 se muestra el PCB de las tarjetas de comunicación tienen un tamaño aproximado de 5.8 cm x 3.9 cm.

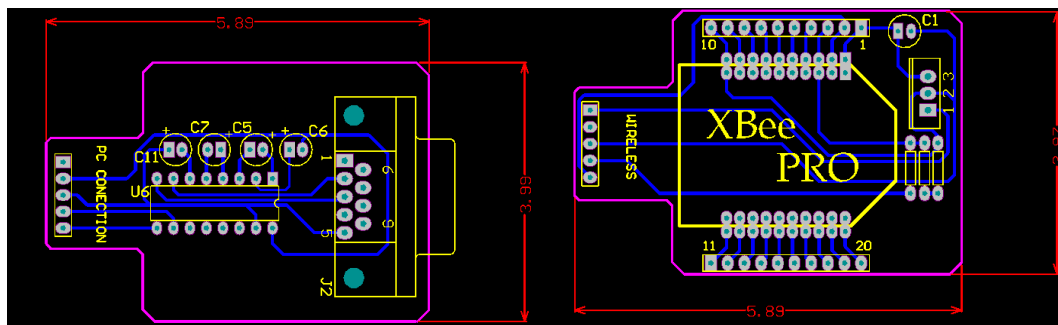


Figura 3. 16 PCB tarjeta de comunicación por cable y inalámbrica.

En la figura 3.17 se muestra las tarjetas físicamente, se mandaron fabricar de baquelita y serigrafadas, fueron ensambladas a mano.



Figura 3. 17 Tarjeta de comunicación inalámbrica y alámbrica.

Reloj DS1307

El DS1307 lleva una batería de 3v de reloj conectada para mantener la información en todo momento aun cuando se desconecte de la alimentación, un cristal de 32 KHZ y comunicación I2C ver figura 3.18.

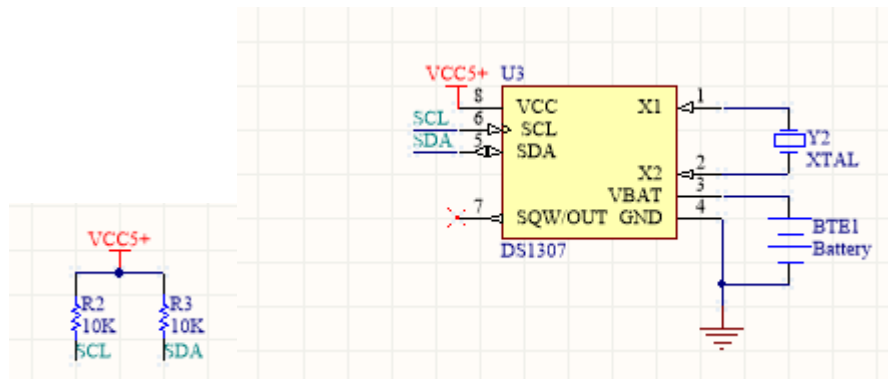


Figura 3. 18 Esquemático de la conexión del DS1307.

Memoria EEPROM 24CL256

Es una memoria de 256kB con direccionamiento de 8 bits ver figura 3.19.

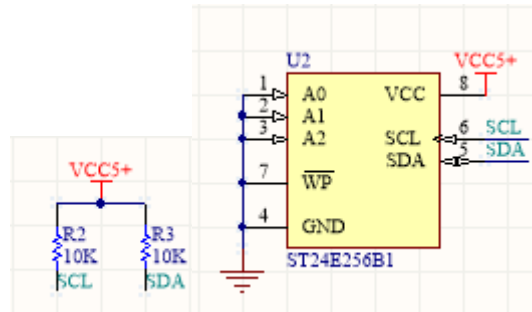


Figura 3. 19 Esquemático de la conexión de la memoria eeprom.

Teclado 4x4 y driver MM74C922

El teclado funciona como interfase con el usuario para poder meter valores y mover los cursores del menú ver figura 3.20, es un teclado matricial 4x4 ver figura 3.21.

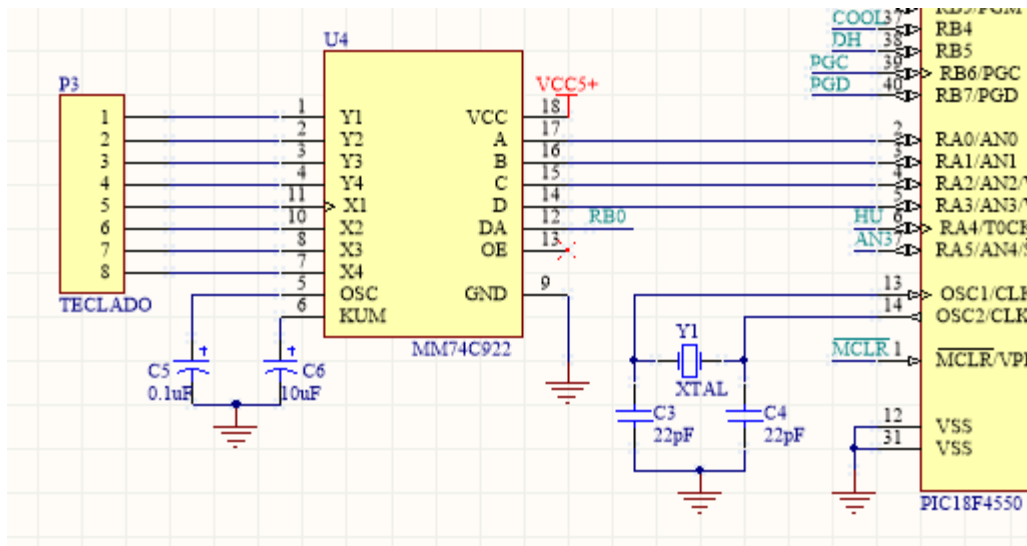


Figura 3. 20 Esquemático driver para teclado MM74C922.

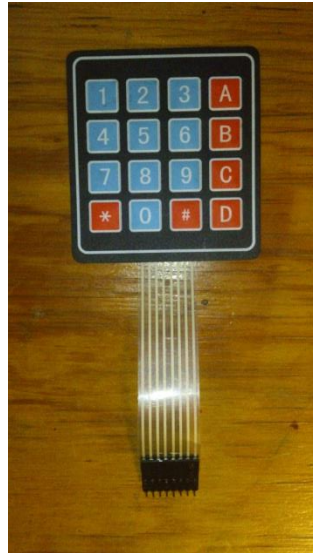


Figura 3. 21 Teclado matricial 4x4.

Interface LCD 4x20

En la figura 3.22 se muestra el esquemático de la conexión de la LCD.

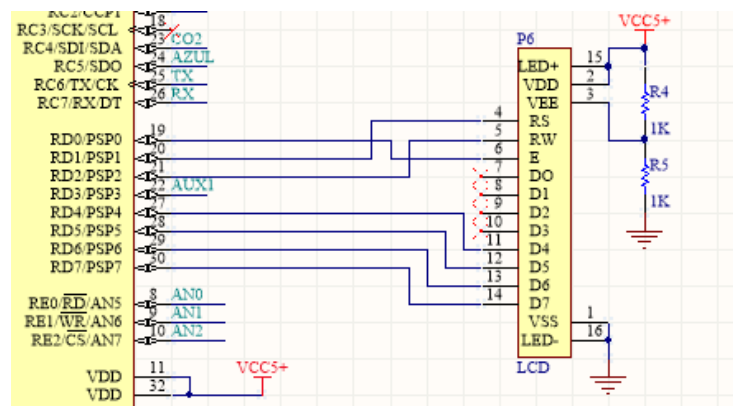


Figura 3. 22 Esquemático de la LCD 4x20

Simulación Proteus

Se realizó una simulación de la tarjeta en ISIS Proteus para ver el comportamiento de los dispositivos antes de probarlos físicamente figura 3.23.

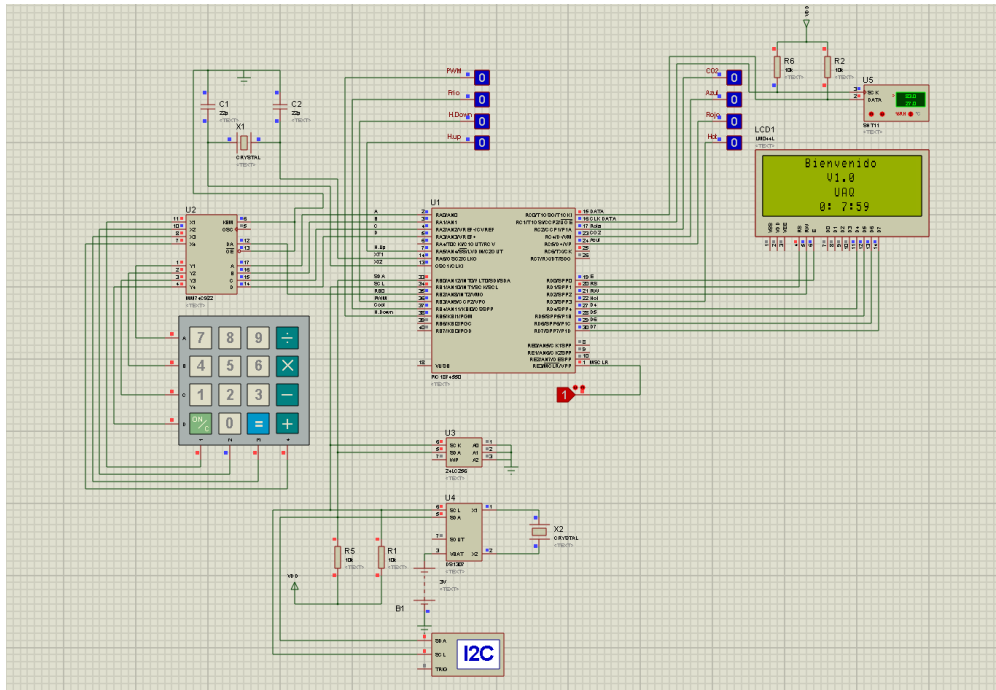


Figura 3. 23 Simulación de la tarjeta de control ISIS Profesional.

3.5 Actuadores

Humidificador

Se cuenta con un Humidificador con capacidad de 1 ton en 127 v, que funcionó para inyectar la humedad a la cámara, este trabaja con tecnología de tipo tiro forzado otorga un rango de humedad del 40 al 95% figura 3.24.



Figura 3. 24 Humidificador

Deshumidificador

Un deshumidificador marca soleusaire modelo DP1-50-03a con capacidad de 50 pint por día, 540 watts, 195/175/155 CFM, 115v, 5.2 A figura 3.25.



Figura 3. 25 Deshumidificar Soleusaire

CO₂

- Se tiene un tanque para dióxido de carbono de 20 kg con su manómetro y válvula solenoide de 127v.

Luz artificial

- Mediante lámparas de LEDs 332 LEDs (5W en total)
- Lumen (Rojo / Azul)

Rojo: 15.2 cd x 234 LEDs 650nm longitud de onda

Azul: 10.6 cd x 98 LEDs 450nm longitud de onda

- LED de 5 mm de diámetro en la figura 3.26 se observa el esquemático de la forma de conexión de los leds.

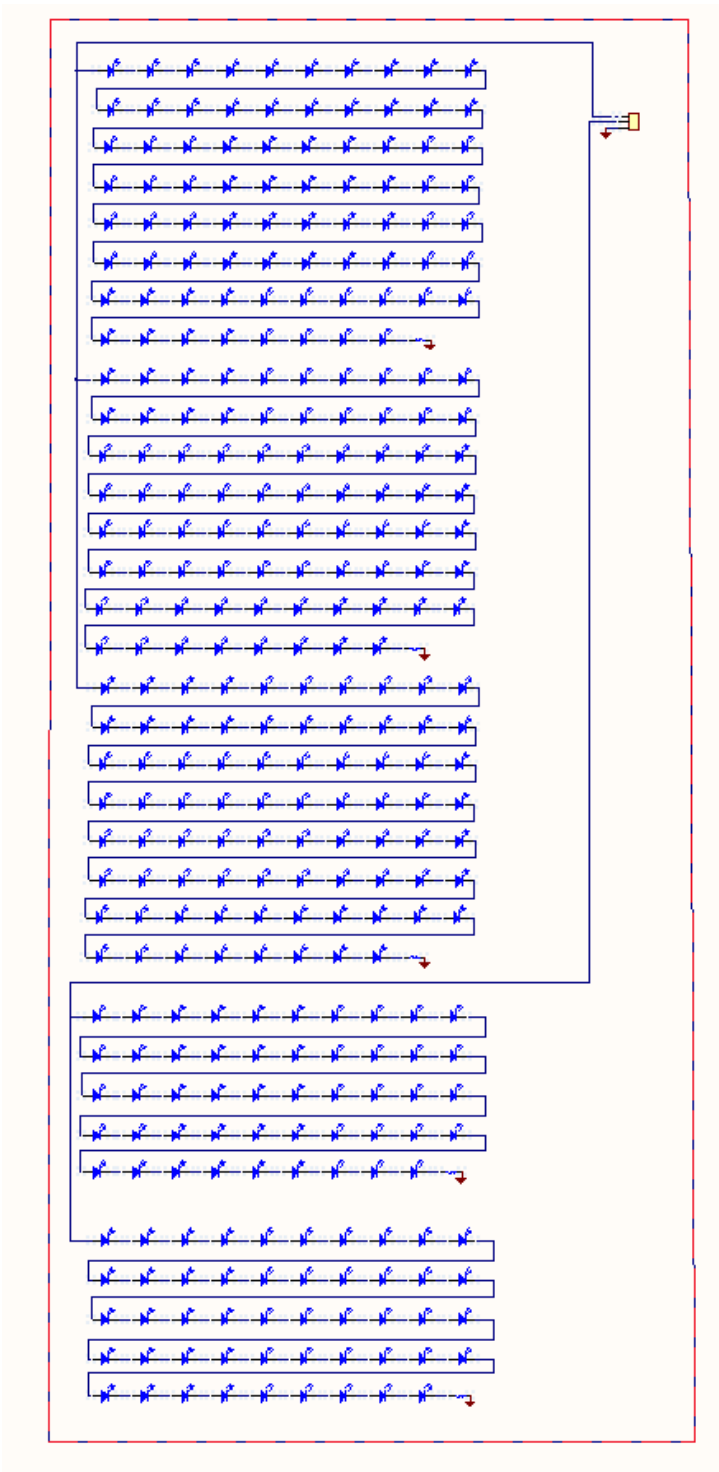


Figura 3. 26 Esquemático de conexión de leds.

- Temperatura de trabajo -30 a 60 grados Celsius

- Humedad de trabajo menos del 95%
- Vida útil: 100.000 Horas figura 3.27 y figura 3.28.



Figura 3. 27 Lámpara funcionando.

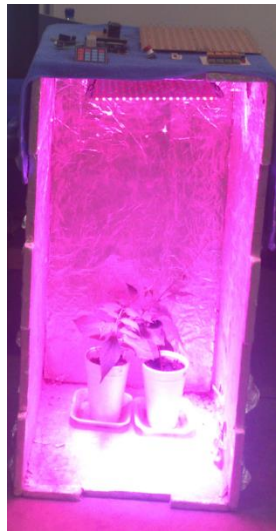


Figura 3. 28 Lámpara con plantas.

- Tamaño aproximado: 30 x 30 x 4 cm figura 3.29.

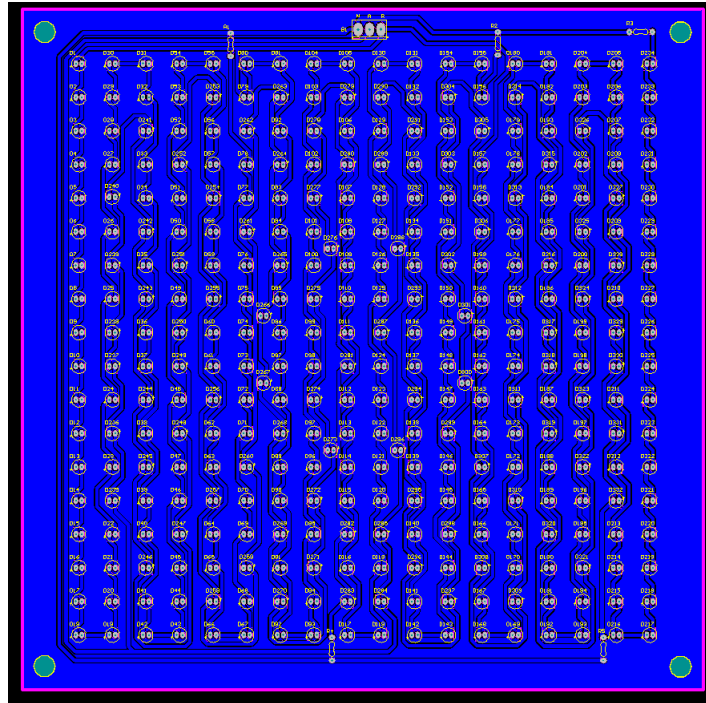


Figura 3. 29 PCB de la tarjeta de la lámpara de leds.

- Versión 3D de la lámpara de leds figura 3.30.

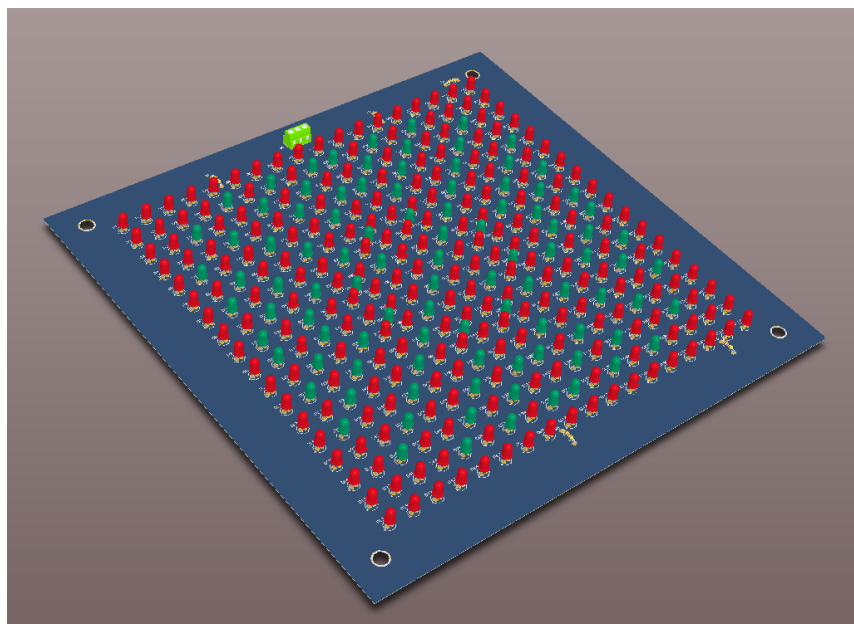


Figura 3. 30 Vista 3D de la lámpara de leds.

- Fuente para las lámparas leds de 166v cd figura 3.31 y figura 3.32.

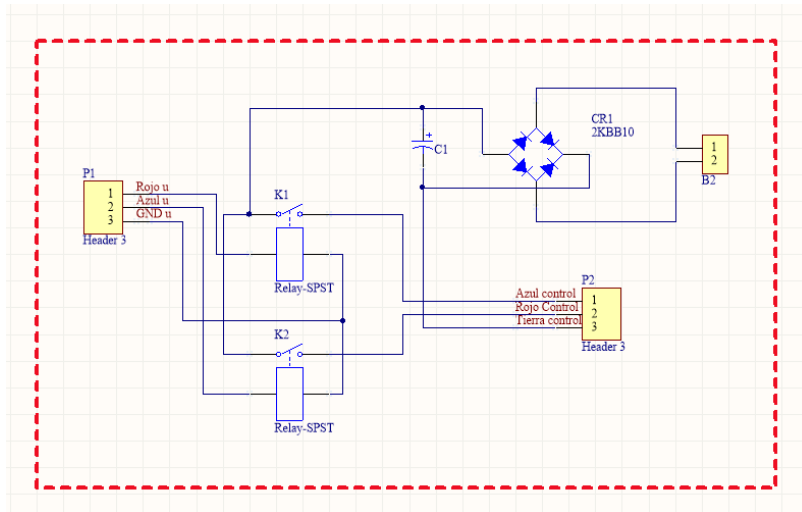


Figura 3. 31 Esquemático fuente de alimentación de las lámparas.

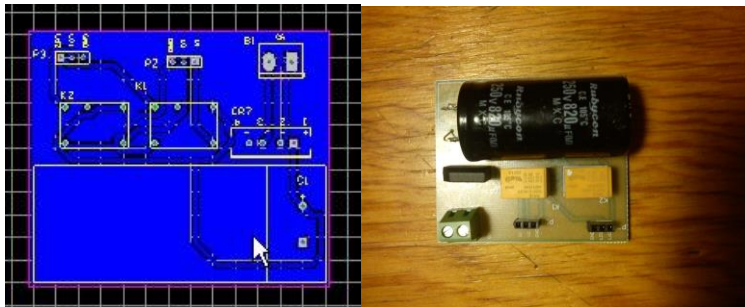


Figura 3. 32 Fuente de alimentación lámpara leds

Enfriamiento

- Evaporador ADT090BK5 D Aire 230/1/60 (9000 BTU) figura 3.33.



Figura 3. 33 Evaporador

- Unidad SJH-0101 M2BE 1HP 230/1/60M figura 3.34.



Figura 3. 34 Unidad SJH-0101

- Control AKO 14423 Panel figura 3.35



Figura 3. 35 Control AKO 14423

- Ventiladores 1260 CFM que provoca un movimiento del aire circular dentro del cuarto como se muestra en la figura 3.36.

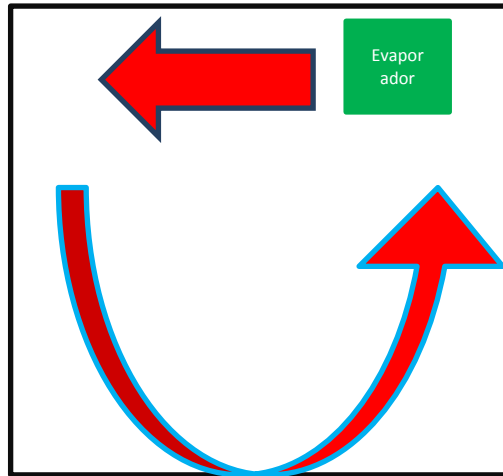


Figura 3. 36 Movimiento del aire dentro de la cámara

- Refrigerante R-22

Calentamiento

- 3 Resistencias aletadas de 1500 wats a 220v ca 4.5 ampers de corriente, ubicadas dentro del evaporador ver figura 3.37.



Figura 3. 37 Resistencias aletadas 220v 1800watts

Sensores

- Sensores para la temperatura y la humedad relativa es un Sensirion SHT11 series figura 3.38, con un rango de error de más menos un por ciento.



Figura 3. 38 Sensor SHT11 con base

- Sensor MQ-7 figura 3.39 Puede detectar concentraciones de gas en cualquier rango dentro de las 200 hasta las 10000ppm.



Figura 3. 39 Sensor MQ-7 con base

3.6 Esquema de distribución de actuadores

En la figura 3.40 se muestra la distribución y ubicación de todos los sistemas.

control exteriores son por medio del neutro, el hilo vivo final es utilizado para el resto de los componentes de control.

En la figura 3.40 se muestra un esquema de las conexiones del tablero de potencia.

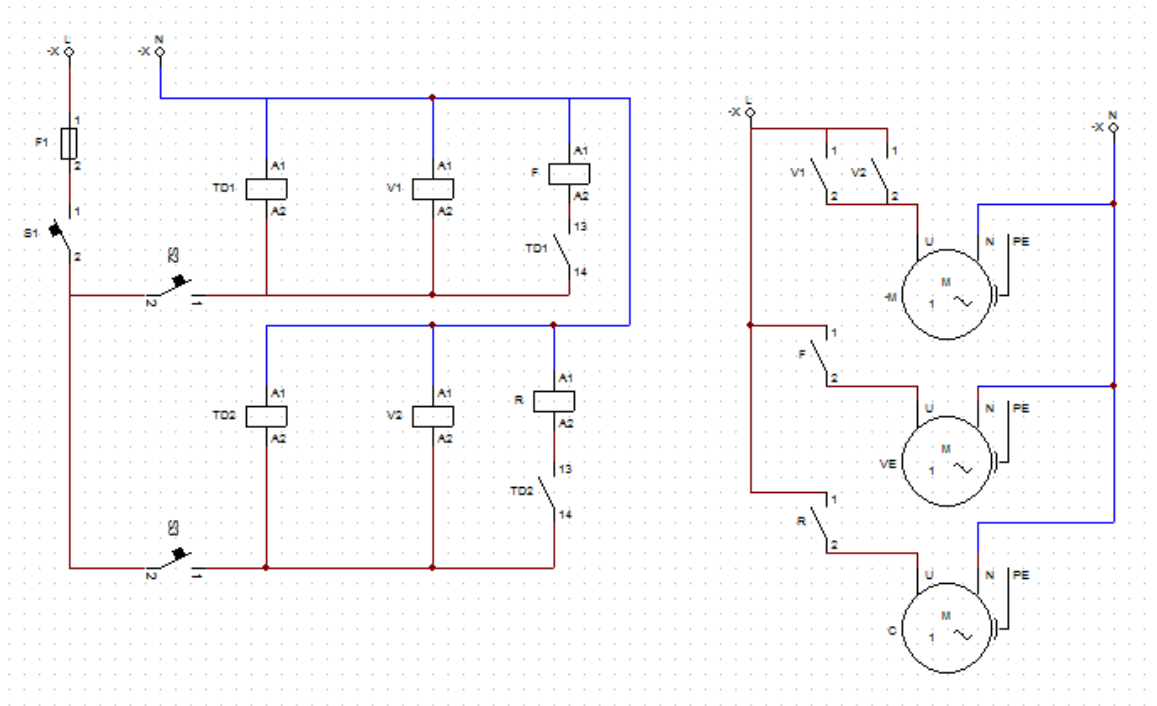


Figura 3. 40 Esquemático de la conexión del mando manual

Tabla 4 Componentes del tablero de control manual

Nombre	Descripción	Característica
S1	Interruptor	
S2	Interruptor	
S3	Interruptor	
F1	Proteccion	
TD1	Control frio	
TD2	Control calor	
V1	Contactora	
V2	Contactora	
F	Contactora	
R	Contactora	

En la figura 3.41 se muestra las fotos del tablero ya armado.

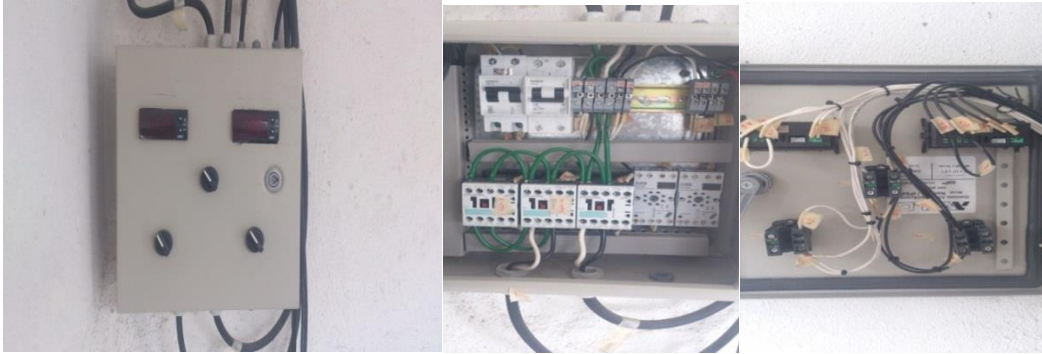


Figura 3. 41 Tablero 1 vista por fuer, vista interior y vista de la puerta.

3.8 Software embebido

Interface de programación

El programa fue desarrollado en C con el compilador CCS y fue programado por medio del programador pickit 3 de microchip ver figura 3.42.



Figura 3. 42 Programador Pickit 3 y tarjeta de programación.

3.9 Pruebas

Prueba de lámpara

Se trabajó con frijol en estado de plántula dado que en este estado tiene una gran necesidad de luz y es posible observar rápidamente si tiene falta de esta, se realizaron tres tratamientos el tratamiento y dos repeticiones, el tratamiento A con luz de natural y temperatura ambiente, B luz de la lámpara 12 horas continuas a una distancia de 30cm y temperatura promedio de 25°C, C puesta en la sombra con temperatura constante 25°C, repetición 1 la plántula no presentaba hojas todavía figura 3.43, 2 la plántula ya presentaba hoja ver figura 3.44 , se les agrego 30 ml de agua cada dos días a todas las plantas y 10g de triple 17, se corrió la prueba por 7 días.



Figura 3. 43 Frijol sin hoja antes de los tres tratamientos



Figura 3. 44 Frijol con hoja antes de los tratamientos

Prueba de cámara

Caracterización de temperatura

Se caracterizó la cámara para ver el comportamiento de los actuadores, se elevó la temperatura a 50°C su máximo, en ese momento se bajó a 0°C tomando el

tiempo que le llevaba a los sistemas hacer esto una vez que la temperatura se estabilizo se volvió a subir a 50 °C tomando el tiempo que le tomaba esto para saber los tiempos de respuesta.

Prueba de uniformidad de la temperatura y la humedad

Se hizo con la ayuda de un instrumento externo a la cámara un watchdog serie 450 que mide la temperatura y la humedad se colocó en 4 posiciones de la cámara y a 4 alturas diferentes, se programó la cámara a 22°C y una humedad de 20%, se dejó durante 15 minutos en cada posición y cada minuto se registró la temperatura y la humedad, para medir las distancias se tomó como origen el muro de la puerta(Eje x) y el muro izquierdo viendo la puerta de frente(Eje y) ver figura 3.45.

Tabla 5 Medidas de las posiciones de los sensores.

Posición	Eje z	Eje x	Eje y
1	200 cm	70 cm	210 cm
2	150 cm	185 cm	90 cm
3	100 cm	300 cm	150 cm
4	50 cm	150 cm	320 cm

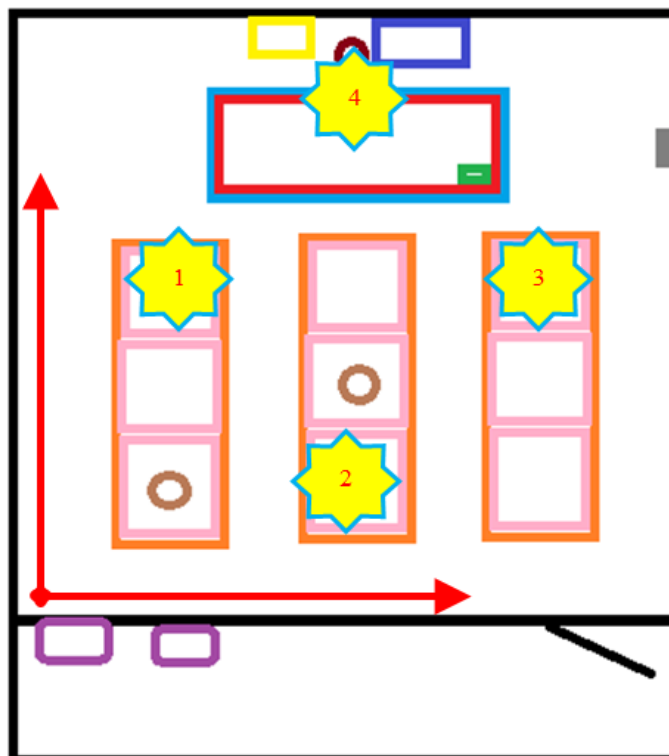


Figura 3. 45 Distribución de los sensores

Prueba general de los sistemas

Se colocaron sensores externos de temperatura y humedad en diferentes partes de la cámara a diferentes alturas para garantizar que la cámara mantiene uniformidad en temperatura se tomó un día al azar del año 2012 del registro de la unidad meteorológica de Amazcala se sacó el promedio de temperatura por hora y fueron los valores que se programaron a simular ver tabla 6.

Tabla 6 . Datos meteorológicos de Amazcala 1 de Marzo 2012

Fecha	Hora (00-23)	Temp (°C)	Hum (%RH)
01/03/2012	0	16	45
01/03/2012	1	13	48
01/03/2012	2	10	60
01/03/2012	3	9	66
01/03/2012	4	8	68
01/03/2012	5	7	72
01/03/2012	6	6	73
01/03/2012	7	6	75
01/03/2012	8	10	66
01/03/2012	9	14	53
01/03/2012	10	20	39
01/03/2012	11	22	34
01/03/2012	12	25	27
01/03/2012	13	26	18
01/03/2012	14	28	14
01/03/2012	15	28	12
01/03/2012	16	29	12
01/03/2012	17	28	14
01/03/2012	18	27	17
01/03/2012	19	23	21
01/03/2012	20	22	22
01/03/2012	21	19	29
01/03/2012	22	16	43
01/03/2012	23	14	48

IV.- RESULTADOS Y CONCLUSIÓN

4.1 Lámpara

Durante la semana del experimentó del 11/03/2013 al 18/03/2013 se presentaron varias días nublados y cambios bruscos de temperatura, y al comparar los tratamientos sin hoja se observa claramente en el tratamiento C la falta de luz en un enlogamiento de su tallo, mientras que la planta que se ve más vigorosa y presento mayor desarrollo es la que estaba bajo el tratamiento B ver figura 4.1.



Figura 4. 1 Resultados de repetición 1.

En la repetición 2 donde las plantas ya presentaban pequeñas hojas, el tratamiento C presento retraso en su crecimiento y un crecimiento mayor de su tallo, mientras que el tratamiento B presento un mayor desarrollo figura 4.2.

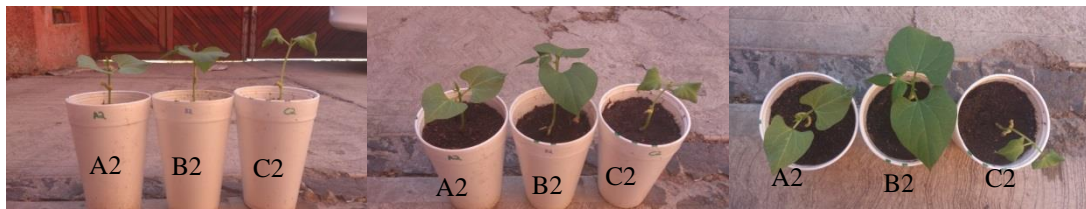


Figura 4. 2 Resultados de repetición 2.

El mayor desarrollo del tratamiento B es debido a que se encuentra un recinto donde la condición humedad y temperatura se mantuvieron constantes alrededor de 25°C y 50% HR, y que la lámpara está cumpliendo con necesidades fisiológicas de luz en la planta de frijol, esta lámpara se puede mejorar colocando leds en donde el ángulo de refracción sea mayor y de esta manera tener más área iluminada.

4.2 Caracterización de temperatura

En la figura 4.3 se muestra la caracterización del comportamiento de la temperatura se llevó a su punto más alto 50°C y después se bajó a su punto más bajo eso para conocer el tiempo de respuesta del equipo y los límites de la cámara, se tomó lectura de la temperatura cada minuto por medio del watchdog datalogger 450.

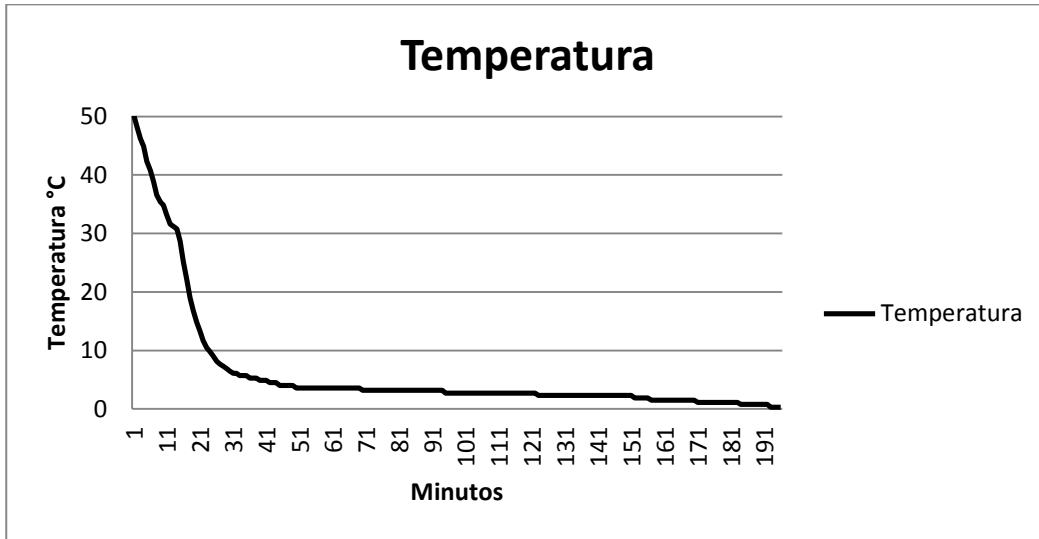


Figura 4. 3 Caracterización de temperatura enfriamiento.

La figura 4.4 muestra el comportamiento de la cámara desde su punto más bajo hasta el punto más alto que va de 0°C a 50 °C, se midió la temperatura por medio de watchdog dataloger 450 cada minuto.

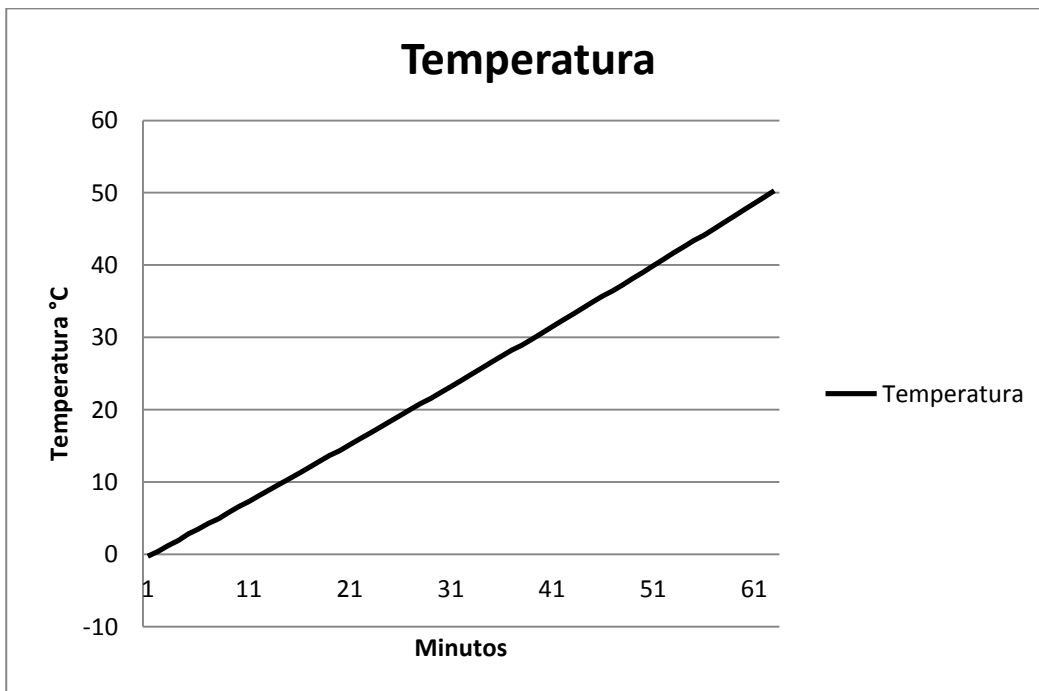


Figura 4. 4 Caracterización de temperatura calentamiento.

4.3 Uniformidad de la temperatura y la humedad

En la figura 4.5 se muestra los resultados de las mediciones obtenidas con el watchdog datalogger 450 observando que la temperatura se mantiene uniforme en los 4 puntos y a diferentes alturas.

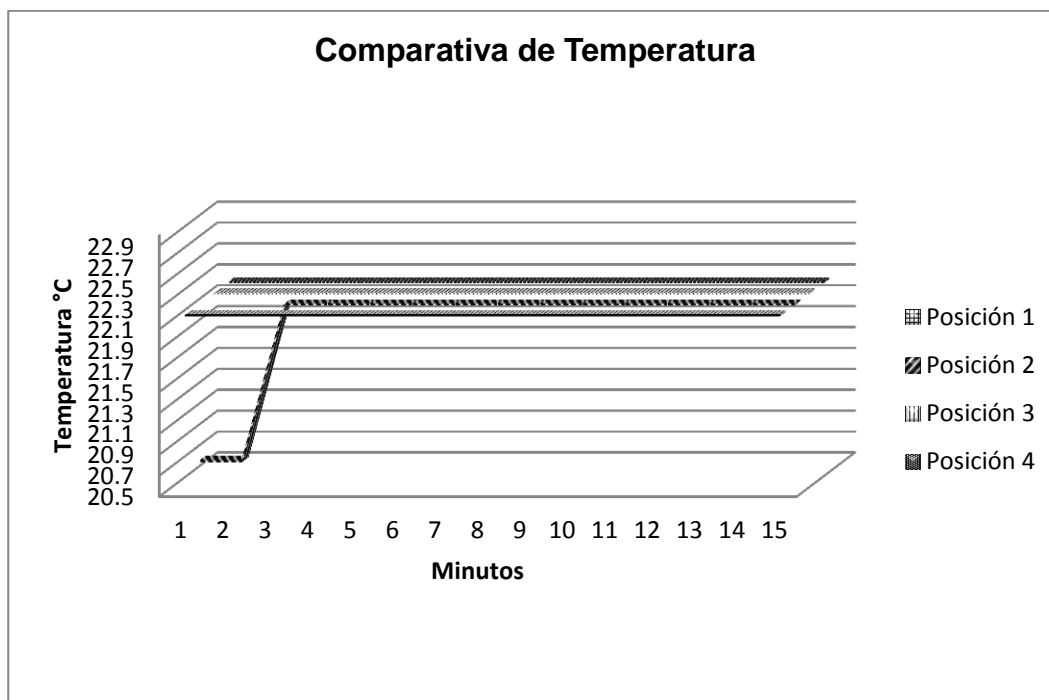


Figura 4. 5 Comparativa de temperatura.

El comportamiento de la humedad es más variado va de 19.4% hasta 17.9%, siendo que se fijó a 20% se muestra el comportamiento en las diferentes posiciones en la figura 4.6, se observó al momento en que prende el sistema de refrigeración humedad el radiador y la condensa y al apagar regresa nuevamente al aire.

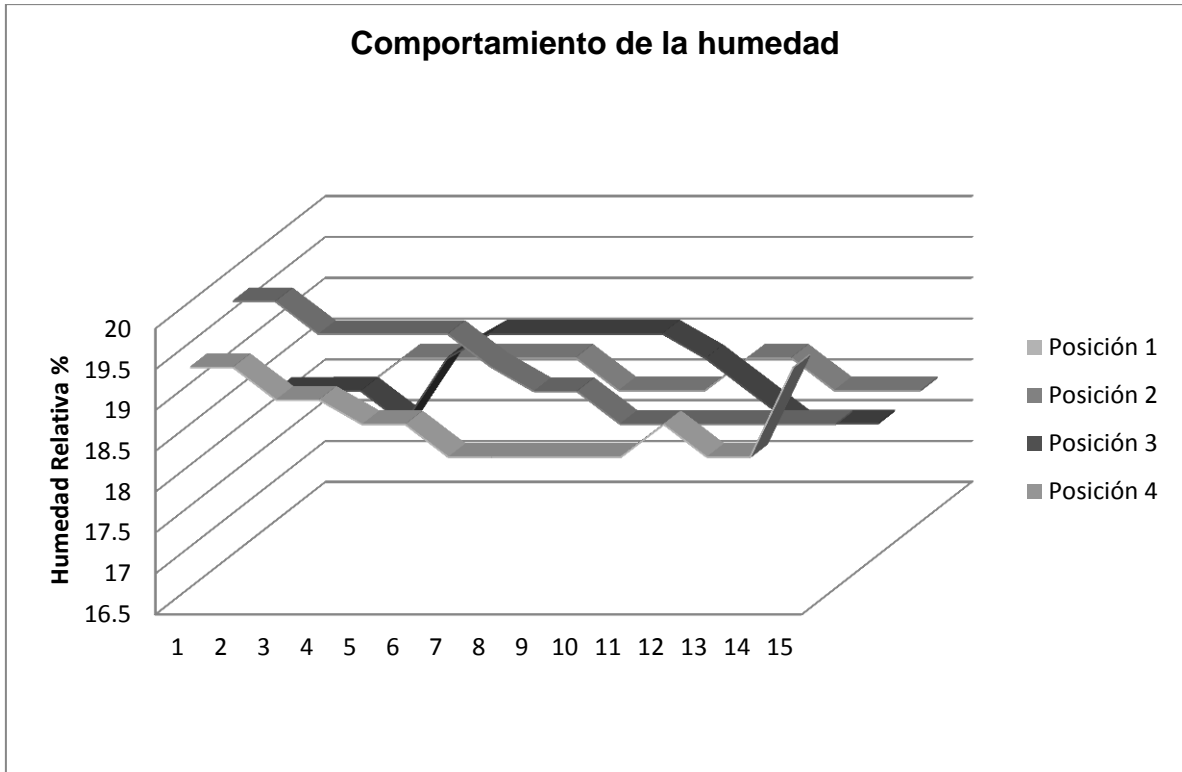


Figura 4. 6 Comportamiento de la Humedad Relativa.

4.4 Prueba de temperatura simulación de un día

En la figura 4.7 se muestra la gráfica del comportamiento de la temperatura del 1 de marzo del 2012, medidas con el centro meteorológico de Amazcala.

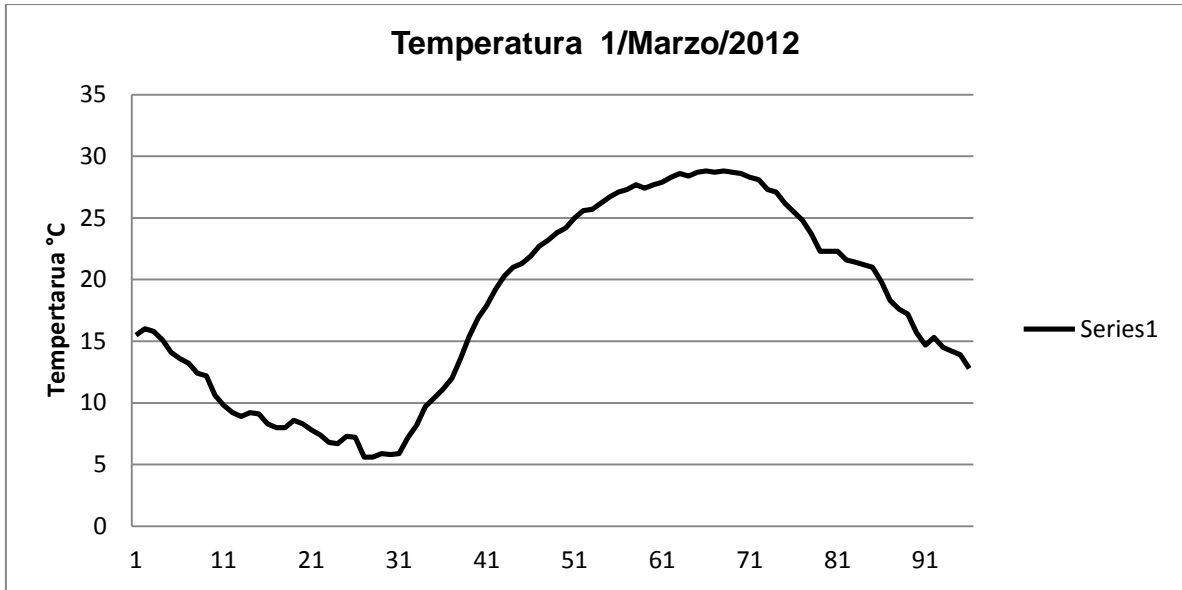


Figura 4. 7 Comportamiento de la temperatura cada 15 minutos.

En la figura 4.8 se muestra el comportamiento de la temperatura dentro de la cámara programada cada hora y medidas cada minuto con un watchdog datalogger 450.

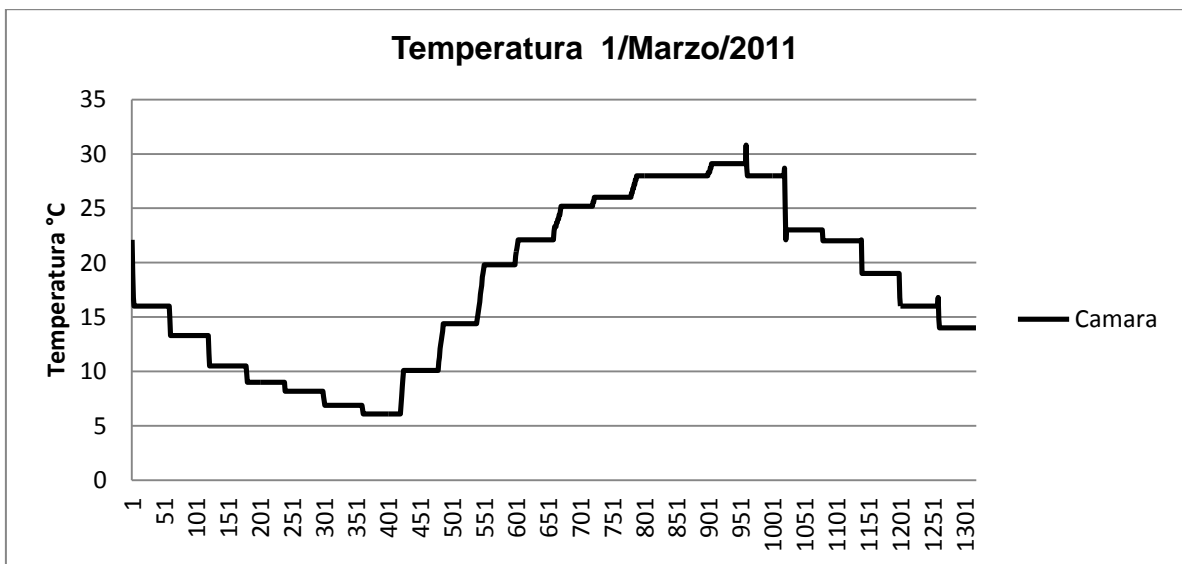


Figura 4. 8 Comportamiento de la temperatura dentro de la cámara cada minuto.

V. CONCLUSIÓN

Las lámparas de leds para plantas cumplen su función y se puede hacer crecer plantas sin la necesidad de la luz del sol de una manera más controlada suministrando solo la luz PAR diaria requerida para cada especie.

Se logró bajar la temperatura de su punto máximo (50°C) a su punto mínimo (0°C) en un lapso de 3 horas, y subirla de su punto mínimo a su punto máximo en una aproximadamente, todo esto se puede hacer posible dado que el cuarto está aislado, pero se podría mejorar si se agrega piso aislante y aumentar la durabilidad con una cubierta al poliuretano.

Por medio del watchdog data logger se logró demostrar la uniformidad de la temperatura por el cuarto garantizando de esta manera que en cualquier parte de la cámara tendremos las mismas condiciones ambientales tanto de temperatura como de humedad.

Se tiene una cámara confiable en donde se puede experimentar controlando satisfactoriamente la temperatura, la humedad, luz e inyectando monóxido de carbono.

El proyecto se ha concluido satisfactoriamente cumpliendo la propuesta de inicio en la hipótesis y objetivos, demostrando que con el control de las variables climáticas de temperatura, humedad, luz y bióxido de carbono se tiene una herramienta confiable.

LITERATURA CITADA

Adarraga P. y J. L. Zaccagnini, 1988. Sistemas expertos y psicología cognitiva: una visión general. Estudios de Psicología, 36, 97-127.

Bennisaa,d N., Duplaixb J., Eneab G., Halouac M., Youlald H., 2008. Greenhouse climate modelling and robust control. Elsevier computers and electronics in agriculture 6 1 96–107.

Blasco X., Martínez M., Herrero J., Ramos C., Sanchis J., 2006. Model-based predictive control of greenhouse climate for reducing energy and water consumption. Elsevier Computers and Electronics in Agriculture 55 (2007) 49–70.

Caponetto R. Fortuna L., Numari G., Occhipinti L., 1998. A Fuzzy Approach to Greenhouse Climate Control. AACC.

Caponetto R. Fortuna L., Numari G., Occhipinti L., Xibilia M., 2000. Soft Computing for Greenhouse Climate Control. IEEE

Castillo E., F. Castellvi, 2001. Agrometeorología. Editorial, Mundi Prensa.

Castro-Ortíz L. P., V. M. Luna, R. Villalobos, 2007. Estado del arte y perspectiva del uso de biosensores ambientales en Mexico. Rev. Int. Contam. Ambient v.23 n.1

Chunfeng Z. and Yoghui C., 2011. Applications of DMC-PID Algorithm in the Measurement and Control System for the Greenhouse Environmental Factors. IEE.

Douglas Marlow, 2011. Aporte de CO_2 en un invernadero. Congreso internacional del Tomate.

García-Martínez R. y P. Britos, 2004. Ingeniería de Sistemas Expertos. Editorial Nueva Librería. Buenos Aires.

García-Martínez R., M. Servente, D. Pasquini , 2003. Sistemas Inteligentes. Editorial Nueva Librería.

Grimes C. A., E. C. Dickey, M. V. Pishko, 2006. Encyclopedia of Sensors, American Scientific Publishers.

Hasni, A., Draoui, B., Bounaama, F., Tamali, M., Boulard, T., 2006. Evolutionary algorithms in the optimization of natural ventilation parameters in a greenhouse with continuous roof vents. Acta Hortic. (ISHS) 719, 49–56.

Hu H. and Xu L., 2010. Multi-Objective Tuning of Nonlinear PID Controllers for Greenhouse Environment using Evolutionary Algorithms. IEEE.

Hu H. and Xu L., 2010. Nonlinear Adaptive Neuro-PID Controller Design for Greenhouse Environment Based on RBF Network. IEEE.

Kastner J., and S.J. Hong, 2003 A review of experts system. European journal of operational research, p.p 285-292.

Lanfang P., Wanliang W., Qidi W., 2000. Application of Adaptive Fuzzy Logic System to Model for Greenhouse Climat. IEEE.

McQuinston, Parker, Spitler, 2003. Calefacción, ventilación y aire acondicionado. Limusa Wiley.

Nachidit M. Benzaouia A., Tadeo F., 2006. Temperature and humidity control in greenhouses using the Takagi-Sugeno fuzzy model. IEEE.

Patiño H., Pucheta J., Fullana R., Schugurensky C., Kuchen B., 2004. Neuro-dynamic programming-based optimal control for crop growth in precision agriculture. IEEE.

Taylor J. and Chotai A., 1997. Adaptive PIP control with applications to greenhouse systems and dynamic traffic management. The Institution of Electrical Engineers.

Zeigner E. y L. Taiz, 2006. Fisiología vegetal. Publicaciones de la Universitat de Jaume, Castello de la Plana.

APENDICE



Control system environmental chambers and greenhouses Sistemas de control de cámaras he invernaderos

Edgar González Martínez, Enrique Rico Garcia

Universidad Autónoma de Queretaro
edgoman@hotmail.com, ricog@uaq.mx

ABSTRACT. Whith the pass of the years, the humankind have changed the way of food production, they first only put the seed in the land and wait for it to grow and next they harvest the fruits harvested. Nowaday the human race did not worry in creating good environmental conditions to plant today, for example whit the use the greenhouses and environmental chambers different control systems implemented in control of variables like radiation, temperature, humidity, CO_2 and others. In this work we mention some authors that improved traditional system of control like promotional integer difference (PID) whit some plus or add neural network, and other implements of artificial intelligence like fuzzy system and neural network.

Keywords: Sistem control, greenhouse, enviromental chambers.

1. Introduction

Today a problem is to create a favorable climatic conditions in order to reach predetermined results for high yield, high quality and low costs in greenhouse production. The known application is climate control (temperature, humidity, CO_2 and artificial lighting). Control is necessary for agricultural crop growth and plants physiology experiments. Exist different methods of control for example traditional and simple like that of PID but most of these methods work whit independent set point and easy implementation and excellent performance in practical applications, it is been improved whit control intelligent systems like Fuzzy and Neurons. They try to propose good conditions for agriculture.

The objective of this work is to give some preliminary search of the different control system for greenhouse or environmental chambers, and describe the different techniques of this.

2. Traditional and improved control

This control system is based on a heater actuator which is turned on and turned off by a thermostat whenever the temperature error is outgoing the fixed regulation band.

2.1. PIP

Proportional Integral Plus (PIP) controllers, based on Non Minimal State Space (NMSS), have been successfully implemented in the self adaptive control of a non linear temperature control system, control of glasshouse micro climate. Both applications are non linear dynamic systems. Consequently in order to develop a state variable feedback control algorithm of the type used in PIP design. In other non linear systems, the essential small perturbation behavior can be approximated well by simple linear transfer function models, which are identified and estimated by reference to measured data. For brevity, only the single input, single output discrete time transfer function model is discussed below, but the results are easily generalized to the multivariable case (Equation 1).

$$y(k) = \frac{b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}} * u(k) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} * u(k) \quad (1)$$

Where z^{-1} is the backward shift operator, i.e. $z^{-1} y(k) = y(k-1)$ and $\{a_i, b_i\}$ are the time varying parameters, recursively estimated by the Simplified Refined Instrumental Variable (SRIV) algorithm. For convenience, any pure time delay of t samples is accounted for by setting the t leading parameters of the $B(z^{-1})$ polynomial to zero. In the case of greenhouse control, the output $y(k)$ consists of the temperature, relative humidity or carbon dioxide concentration, while $u(k)$ is the appropriate control input. In NMSS design, the $n + m$ dimensional state vector $x(k)$, consists of the present and past sampled values of the output variable $y(k)$ and the past sampled values of the input $u(k)$ (Equation 2).

$$x(k) = [y(k) * y(k-1) * \dots * y(k-n+1) * u(k-1) * u(k-2) * \dots * u(k-m+1) * z(k)]^T \quad (2)$$

Where $z(k)$ is the integral of error between the reference or command input, introduced to ensure type one servomechanism performance. The model (1) and corresponding state vector (2), may be extended and generalized in various ways, to improve the robustness and performance of the final controller. The PIP greenhouse controller, for example, includes a feedforward of measured solar radiation in the control design, which successfully ensures rapid rejection of temperature deviations caused by this disturbance. In figure 1, where it can be seen how the design can be considered as an extension of the ubiquitous PI controller, in which the PI action is, enhanced by higher order forward path and feedback compensators (Taylor and Chotai, 1997).

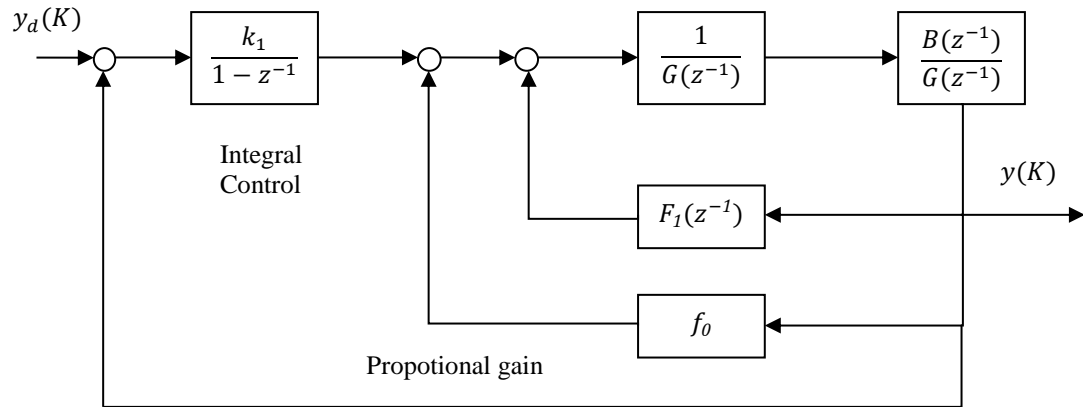


Figure 1. PIP control
(Taylor and Chotai, 1997)

Where:

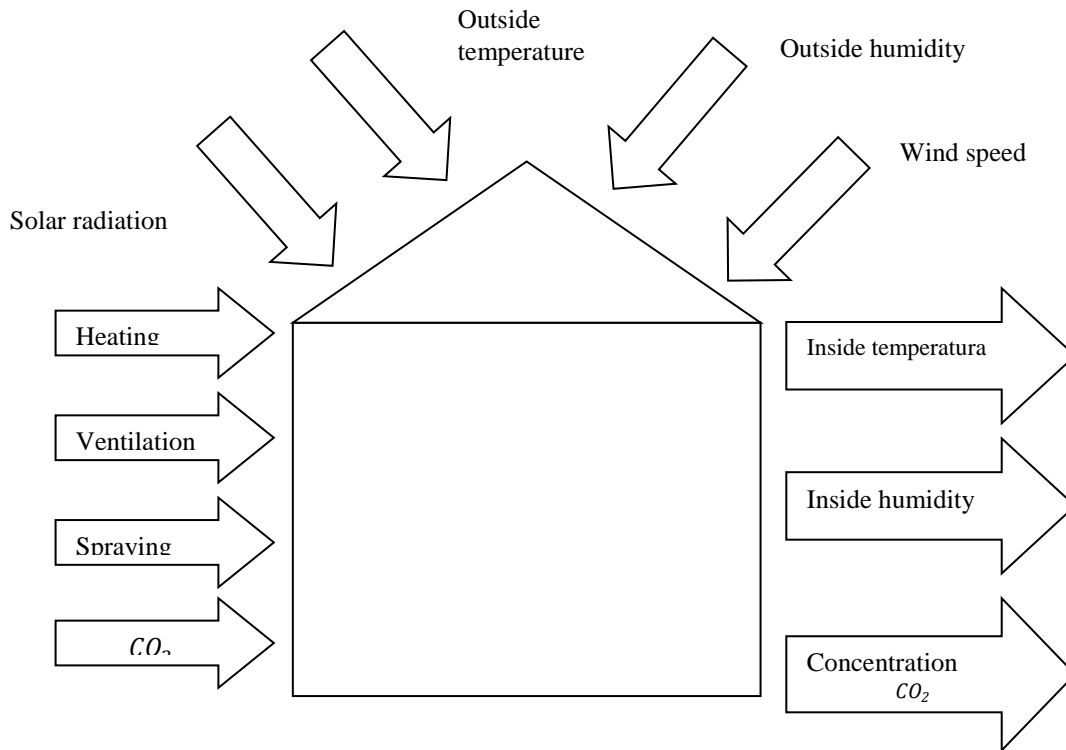
$$F(z^{-1}) = f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2} + \dots + f_{n-1} z^{-(n-1)} \quad (3)$$

$$G(z^{-1}) = 1 + g_1 z^{-1} + \dots + g_{m-1} z^{-(m-1)} \quad (4)$$

2.2. PID

Greenhouse have very difficult problem to implement a system control, the greenhouse environment is highly nonlinear, strong coupled an multi input, multi output (MIMO) systems, it presents time varying behaviors and largely perturbed by the outside weather and other practical constraints. Furthermore, about 95% of the regulatory controllers of the process control, motor drives, automotive, fight control and instrumentation industries have PID structures. For these reasons, tuning PID controllers efficiently is up to this time an interesting research

Variables to take into account, like indoor temperature, humidity and carbon dioxide concentration, control inputs like energy input by the heating system, fogging systems, ventilation system and CO₂ supply flux, external disturbances like solar radiation, outdoor temperature, humidity and wind speed (Figure 2).



**Figure 2. Greenhouse Climate Dynamic Model
(Hu et. Al, 2010)**

A typical structure of a PID controller involves three separate elements: the proportional, integral and derivative values. The proportional value determines the reaction to the current error, the integral value determines the reaction based on the sum of recent errors, and the derivative value determines the reaction based on the rate at which the error has been changing. The mathematical description of its control law is generally written in the ideal form in (5) or in the parallel form in (6)

$$u(t) = K_p(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + Td \frac{de(t)}{dt}) \quad (5)$$

$$u(t) = K_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (6)$$

Where K_p is the proportional gain, T_i is the integral time constant, T_d is the derivative time constant, $K_i = K_p/T_i$ is the integral gain and $K_d = K_p T_d$ is the derivative gain. And $e(t)$ is the current error signal, which is defined as (7)

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (7)$$

Where $r(t)$ and $y(t)$ are the reference signal and process output, respectively.

Note, it is a two input and two output continuous time nonlinear system. Consider a multivariable PID control structure as shown in Figure 3. In order to simulate its behavior on a digital computer, we adopt a fourth-order Runge Kutta method with a small enough integration step. Hence, considering a typical digital incremental PID control algorithm, the corresponding control law of each loop is given as (8) (Hu and Xu, 2010):

$$u(k) = u(k-1) + k_p(e(k) - e(k-1)) + k_i e(k) + k_d(e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \quad (8)$$

Where k is iterative step. K_p , K_i and K_d are the gains of the proportional, integral and derivative terms of a PID controller, respectively.

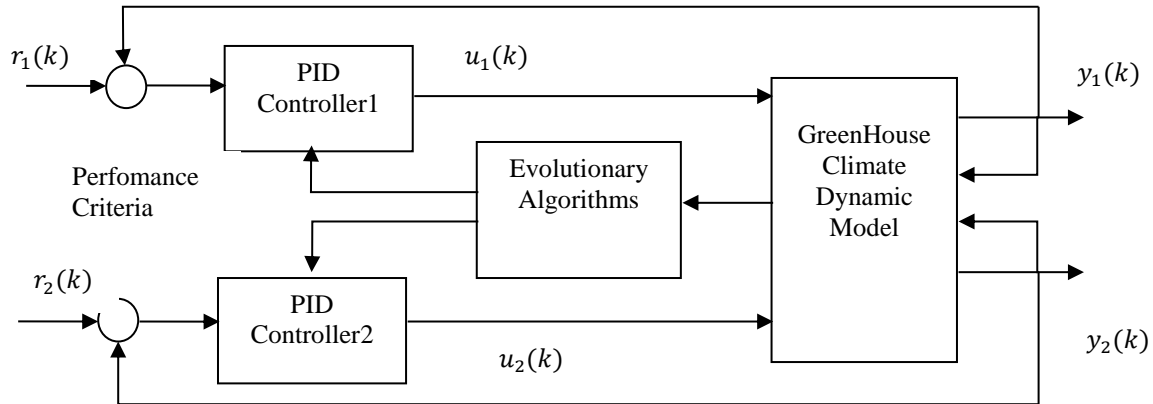


Figure 3. The diagram of greenhouse climate control system.
(Hu and Xu, 2010)

2.3. Neuro-PID

This system is a hybrid control strategy, combining Radial Basis Function (RBF) network with the conventional PID controller. Owing to their powerful ability of approximating nonlinear functions, learning and adaptability, the design methods incorporating artificial neural networks (ANNs) have been widely applied in the area of nonlinear adaptive control. RBF network was used to model the inside air temperature as a function of the outside air temperature and solar radiation, and the inside relative humidity in a hydroponic greenhouse.

Variables to take considerate, like indoor temperature, humidity and carbon dioxide concentration, control inputs like energy input by the heating system, fogging systems, ventilation system and CO₂ supply flux, external disturbances like solar radiation, outdoor temperature, humidity and wind speed.

In order to effectively express the state-space form, we define the inside temperature and absolute humidity as the dynamic state variables, $x_1(t)$ and $x_2(t)$ respectively, the ventilation rate and the water capacity of the fog system as the control (actuator) variables, $u_1(t)$ and $u_2(t)$, respectively, and the intercepted solar radiant energy, the outside temperature, and the outside absolute humidity as the disturbances, $v_i(t)$, $i = 1, 2, 3$, (Equation 9) and (10) can alternatively be written.

$$\dot{x}_1 = \frac{UA}{\rho c_p v_T} x_1(t) - \frac{1}{v_T} x_1(t) u_1(t) - \frac{\lambda}{\rho c_p v_T} u_2(t) + \frac{1}{\rho c_p v_T} v_1(t) + \frac{UA}{\rho c_p v_T} u_2(t) + \frac{1}{v_T} u_1(t) v_2(t) \quad (9)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{BT}{\rho v_H} x_2(t) + \frac{1}{\rho v_H} u_2(t) + \frac{\alpha}{\rho v_H} u_1(t) - \frac{1}{\rho v_H} x_2(t) u_1(t) + \frac{1}{\rho v_H} u_1(t) u_3(t) \quad (10)$$

Radial Basis Functions (RBF), presented by J.Moody and C.Darken, emerged as a variant of artificial neural network, have an input layer, a hidden layer and an output layer. The neurons in the hidden layer contain Gaussian transfer functions whose outputs are inversely proportional to the distance from the center of the neuron. The architecture of a typical RBF network (Figure 4).

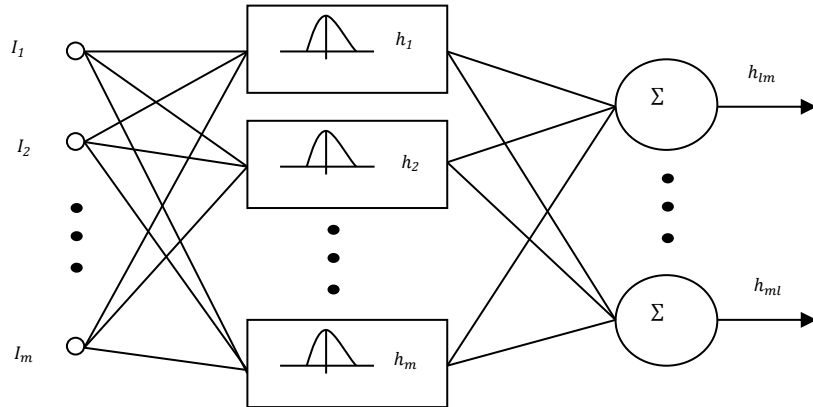


Figure 4. Architecture of a RBF network (Hu and Xu, 2010)

Note that it is a two-input and two-output continuous time nonlinear system. In order to simulate its behavior on a digital computer, we adopt a fourth-order Runge-Kutta method with a small enough integration step. Hence, considering a typical digital incremental PID control algorithm is generally given as (8).

Combining RBF network with the conventional PID controller, we employ a hybrid control strategy, and its structure (Figure 5). RBF network is used to tune the parameters of the conventional PID controller through Jacobian information.

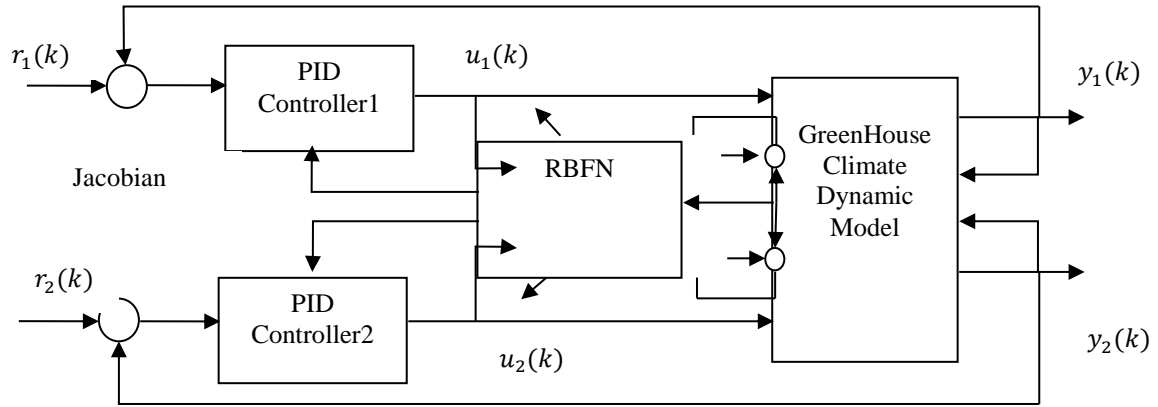


Figure 5. Block diagram of Neuro PID greenhouse climate control system. (Hu and Xu, 2010)

The error signal is defined as (11):

$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (11)$$

The three input of neuro PID (12), (13), (14):

$$x_c(1) = e(k) - e(k - 1) \quad (12)$$

$$x_c(2) = e(k) \quad (13)$$

$$x_c(3) = e(k) - 2e(k - 1) + E(K - 2) \quad (14)$$

The control signal is updated as (15):

$$u(k) = u(k - 1) - \Delta u(k) \quad (15)$$

Where $\Delta u(k)$ is calculated using the following equation (16)

$$\Delta u(k) = k_p x_c(1) + k_i x_c(2) + k_d x_c(3) \quad (16)$$

The controller has good adaptability, strong robustness and satisfactory control performance by tracking square wave trajectory and being compare with the conventional PID control methods (Hu and Xu, 2010).

2.4. DMC-PID

Predictive control is a new control algorithm developed in recent years, which uses the computing power of digital computers for online rolling optimization without the accurate mathematical model of the object.

Considering the characteristics of time-delay, nonlinear and difficult established precise mathematics model in greenhouse climate and a control system based on predictive-PID cascade control is proposed. It combines the cascade control structure with predictive control algorithm, the inner loop uses a general proportion adjuster and the outer loop user a Dynamic Matrix Control (DMC). The control system not only keeps the strong robustness and fast tracking performance of the predictive control algorithm, but also rejects the interference rapidly. Simulation result show that the control quality and the robustness of the system are superior to the general PID system.

DMC is a predictive control algorithm based on step responses model, the controlled objects and close loops were considered as generalizes object and controlled by DMC (17)

$$Y_p \left(\frac{k+i}{k} \right) = Y_0 \left(\frac{k+i}{k} \right) + \sum_{j=1}^M a(i-j+1) x_{\Delta} u(k+j-1) (i = 1, 2, \dots, p) \quad (17)$$

Where Y_p is the predictive outputs, Y_0 is te antecedent index, u is controlling increment, and the subscript shows the change times of controller after the moment K .

The optimal performance index at the moment k is (18):

$$\min J(k)_{\Delta u} = \sum_{i=1}^p q(i) * [w(k+i) - Y_p \left(\frac{k+i}{k} \right)]^2 + \sum_{j=1}^M r(j) * \Delta u^2(k+j-1) \quad (18)$$

Where is output expectation, p is prediction horizon, M is control horizon, $q(i)$ and $r(j)$ are weights. The optimal real-time control increment at the moment k is (19):

$$\Delta u(k) = \sum_{i=1}^p d(i) * [w(k+i) - Y_0 \left(\frac{k+i}{k} \right)] \quad (19)$$

Feedback correction (20)

$$Y_0 \left(\frac{k+i}{k+1} \right) = Y_0 \left(\frac{k+i}{k} \right) + a(i) * \Delta u(k) + h(i) * e(k+1) (i = 1, 2, \dots, p) \quad (20)$$

Where the last term is the error compensation for future output projections, which utilizes the error messages at the moment $(k+1)$ to calibrate weights $h(i)$. While (21)

$$e(k+1) = Y(k+1) - Y_0 \left(\frac{k+1}{k} \right) - a(1) * \Delta u(k) \quad (21)$$

Compared to traditional PID cascade control, they both applied PID control in inner cycle, but in outer cycle DMC PID cascade control used DMC algorithm to replace PID algorithm. Therefore, their respective advantages are developed (Figure 6) show structure of greenhouse environment control system.

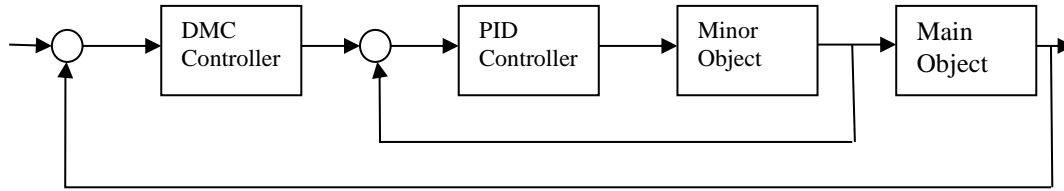


Figure 6. The Structure of DMC PID Control System (Chunfeng and Yoghui, 2011)

The prediction PID control overcome the shortness of the traditional PID and predictive control, it not only has small overshoot, rapid response, good stability, but also has slight steady state error. It shows that prediction PID control is excellent, which verifies the feasibility of the method to apply in greenhouse environment control system (Chunfeng and Yoghui, 2011).

3. Artificial intelligence

3.1. Fuzzy

The use of Fuzzy Logic Controllers (FLCs) for the regulation of climate variables like temperature and humidity in artificially conditioned greenhouses represents a powerful way to minimize the heating-energy spending: which is the more important aspect of greenhouse climate control (Caponetto *et al*, 1998).

Normal fuzzy logic methods can make full use of linguistic knowledge, but they can't tune rules on-line, they don't adapt to process time-variant objects. We apply adaptive fuzzy logic system to model for the greenhouse system.

Adaptive fuzzy logic system is a class of fuzzy logic systems, which has the learning capability and CSLI automatically, modifies fuzzy rules by learning. In addition, I can utilize both numerical data and linguistic information. So it can identify time-variant nonlinear systems. We call the fuzzy logic system fuzzy identifier, which has back propagation learning algorithm and is used to identify nonlinear dynamic systems. Compared with neural network identifier, fuzzy identifier has two essential advantages.

The initial parameters of fuzzy identifier have physical meanings; we can select them in a good way. On the contrary, the initial parameters of neural network identifier are usually selected randomly. Because the back propagation learning algorithm adopted by two kinds of identifier belongs to gradient algorithm, the selection of initial parameters influences the convergence speed of algorithm to a great extent.

Fuzzy identifier can handle linguistic information. Fuzzy identifier is based on fuzzy logic system, which is composed of a set of "if-then" rules, so it provides the path for utilizing linguistic information. Important information about the unknown nonlinear system is probably contained in the linguistic information. In brief, we utilize linguistic information to construct an initial identifier. The fuzzy identifier based on it tracks the real system faster.

Greenhouse temperature and various disturbances, it is assumed that the discrete nonlinear system has the following form (22):

$$T_g(k) = f(T_g(k-1), T_a(k), u(k), Rad(k), RH_g(k)) \quad (22)$$

Where f is the function that will be identified, $T_g(k-1)$ is the $(k-1)$ th sampled greenhouse temperature(°C), $T_a(k)$ is the k th sampled outside temperature(°C), $u(k)$ is the k th sampled wind speed(cm/sec), $Rad(k)$ is the solar radiation(w/ m2), $RH_g(k)$ is the relative humidity of greenhouse, $T(k)$ is output .i.e. the k th outside temperature(°C). The model that is applied to identify is a serial-parallel model (Figure 7).

The design includes two parts:

1.-Construction of initial fuzzy logic system (Figure 7):

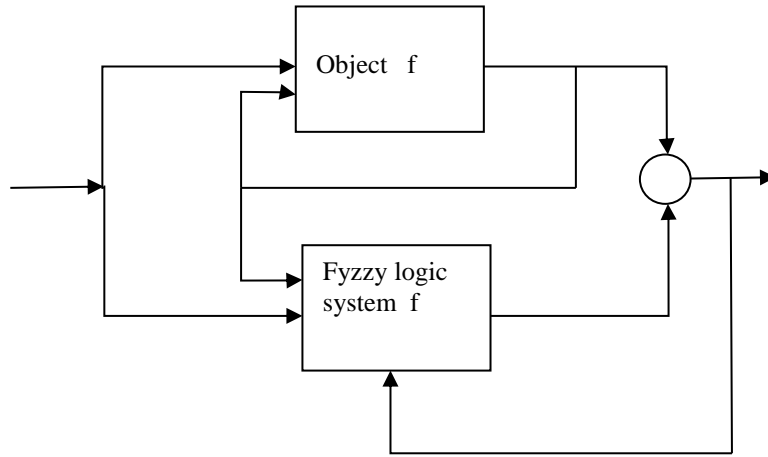


Figure7. The serial parallel identification model based on fuzzy logic system. (Lanfeng P. et.al, 2000).

2.- On line self tuning during the construction, we should make full use of all initial information to approach the function. On-line self-tuning of parameters aims at minimizes the error e between the system output and identifier output. The fuzzy logic system which is composed of central mean fuzzy eliminator, product inference rule, single-value fuzzy generator and Gaussian membership function has the form as the following (23):

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M y^{-1} [\prod_{i=1}^n a_i^l \exp(-(\frac{x_i - x_i^{-1}}{\sigma_i^{-1}})^2)]}{\sum_{l=1}^M [\prod_{i=1}^n a_i^l \exp(-(\frac{x_i - x_i^{-1}}{\sigma_i^{-1}})^2)]} \quad (23)$$

Where y^{-1} the center of is output fuzzy set, x_i^{-1} and σ_i^{-1} the center and width of input fuzzy set respectively, x_i is the i th input. Constructing a reasonable initial fuzzy logic system is to select the initial parameters (y^{-1} , x_i^{-1} and σ_i^{-1}) properly. For the function that will be identified (Equation 24):

$$T_g(k) = \frac{H}{G} \quad (24)$$

With H in the equation (25) and G in the equation (26):

$$H = \sum_{l=1}^{15} T_g^l(k) * \left[a_1^l \exp \left(- \left(\frac{T_a(k) - T_a^l(k)}{\sigma_1^l} \right)^2 \right) \right] * \left[a_2^l \exp \left(- \left(\frac{Rad(k) - Rad^l(k)}{\sigma_2^l} \right)^2 \right) \right] * \left[a_3^l \exp \left(- \left(\frac{u(k) - u^l(k)}{\sigma_3^l} \right)^2 \right) \right] * \left[a_4^l \exp \left(- \left(\frac{RH(k) - RH^l(k)}{\sigma_4^l} \right)^2 \right) \right] * \left[a_5^l \exp \left(- \left(\frac{T_g(k-1) - T_g^l(k-1)}{\sigma_4^l} \right)^2 \right) \right] \quad (25)$$

$$G = \sum_{l=1}^{15} \left[a_1^l \exp \left(- \left(\frac{T_a(k) - T_a^l(k)}{\sigma_1^l} \right)^2 \right) \right] * \left[a_2^l \exp \left(- \left(\frac{Rad(k) - Rad^l(k)}{\sigma_2^l} \right)^2 \right) \right] * \left[a_3^l \exp \left(- \left(\frac{u(k) - u^l(k)}{\sigma_3^l} \right)^2 \right) \right] * \left[a_4^l \exp \left(- \left(\frac{RH(k) - RH^l(k)}{\sigma_4^l} \right)^2 \right) \right] * \left[a_5^l \exp \left(- \left(\frac{T_g(k-1) - T_g^l(k-1)}{\sigma_4^l} \right)^2 \right) \right] \quad (26)$$

Combing physical modeling with adaptive fuzzy logic system is a way to obtain the nonlinear functional relation between the greenhouse temperature and various climate factors. The simulation shows that this method can track the real system. (Lanfeng P. *et al*, 2000).

3.2. Gas-Fuzzy

In order to increase the automation degree of the fuzzy control system a 'near-optimal' controller synthesis strategy has been developed, using Genetic Algorithms. This will allow to comparatively evaluating the human-based approach described above. Genetic Algorithms are in fact powerful tools for global optimization problems (Coponetto *et al*, 2000).

Accepted alternatives for parameter identification in non-linear models are based on minimization of a norm of errors vector. The errors vector is usually composed of differences between experimental process outputs and model outputs in a specific time horizon. The complexity of the function to minimize can avoid the use of classical numeric optimization because of non convex problems and local minima problems. Therefore global optimization is required, for this purpose GAs can offer good solutions. A recent application of GAs to greenhouse model parameters identification as already been performed by Hasni *et al* (2006). The disadvantage of GAs is the high computational cost, although for some types of applications it is acceptable. A generic process model can be represented by a set of differential (Equations 27) and (28) building a state space model:

$$\dot{z}(t) = f(z(t), U(t), \delta) \quad (27)$$

$$\overline{y}(t) = g(z(t), U(t), \delta) \quad (28)$$

Where $f(\cdot)$ and $g(\cdot)$ are the functions that establish model structures and they can be linear or not, ζ the model parameters to identify, $u(t)$ the model input vector, $\hat{y}(t)$ the model output vector, $z(t)$ the state variables vector. Identification of parameters ζ is obtained by the minimization of a function of model output error. Then, in general, a proposed cost function to minimize is (29):

$$J(\delta) = f \|e\|_{qk} \quad (29)$$

Where $\| \cdot \|_q$ represents a norm of a vector and K represents a weighting coefficient of each vector element (K is usually a diagonal matrix or a vector) (Blasco X. *et al*, 2006).

3.3. Takagi-Sugeno fuzzy

The use of Takagi-Sugeno fuzzy models (T-S) for the representation of the nonlinear systems, is generally justified because, thanks to this approach, a nonlinear problem can be decomposed into several linear problems which describe the dynamics of a nonlinear system in different “local” regions. Typically, the Takagi-Sugeno fuzzy system is described as a set of N rules using membership functions F_i and fuzzy variables $z(k)$ as follows.

Rule i : IF $z_1(k)$ is $F_1^i(k)$ and... and $z_l(k)$ is F_l^i then (30)

$$x(k+1) = A_i x(k) + B_i u(k), \quad y(k) = C_i x(k) \quad (30)$$

Where A_i , B_i and C_i are constant matrices of appropriate size, $x(k)$ is R nth state $u(k)$ is the control and $y(k)$ is the output that the overall global model can be structured as follows (31).

$$x(k+1) = \sum_{i=1}^N a_i(z(k)) A_i x(k) + B_i u(k), \quad y(k) = \sum_{i=1}^N a_i(z(k)) C_i x(k) \quad (31)$$

Where $a_i(z(k))$ is the so-called normalized activation function in relation with sub-model i^{th} such that (32):

$$a_i(z(k)) = \frac{\prod_{j=1}^l F_j^i(z_j(k))}{\sum_{i=1}^N \prod_{j=1}^l F_j^i(z_j(k))}, \quad a_i(z(k)) \geq 0 \quad (32)$$

The T-S fuzzy model by applying the model-based fuzzy control design methodology describes in based on the nonlinear (Equations 33) and (34).

$$T_a(k+1) = \frac{t_s}{C_{cap,q}} (E_h - E_v - E_c + E_s) + T_a(k) \quad (33)$$

$$w_a(k+1) = t_s (-W_v - W_c) + w(k) \quad (34)$$

Show that the robust fuzzy controller effectively achieves the desired climate conditions in a greenhouse, which shows the importance of the use of a T-S fuzzy model in the regulation of a very complex process with high nonlinearity such as a greenhouse climate (Nachidi *et al*, 2006)

3.4. Neuronales

Neuro-dynamic programming based optimal controller for crop-greenhouse systems is proposed. Neuro-dynamic programming enables a system to learn how to make good decisions by observing its own behavior and to improve its actions by using a built-in mechanism through reinforcement. Greenhouse modeled

The two networks (CRITIC and ACTOR) are all implemented using multilayer feedfomd neural networks of two layers with 9 neurons in the bidden layer. The neural network actor has 3 inputs, dry weight of the tomato seedling, number of leaves, and stage, and two outputs a(t) and CO₂ concentration. The CRITIC has the same inputs and one output, the cost to go function approximation. The CRITIC network output J, and the ACTOR network output U are trained. The Levenberg Marquardt 's algorithm was used to train the neural networks. After the training process the ACTOR neural network is used on line to control the crop-greenhouse system.

Results shown that the cost accumulation tends to increase when the forecast error (external temperature and solar radiation perturbations) do. The implementation of this control strategy for guiding the crop growth requires a low cost installation. The obtained control law is simple, and minimizes the operative costs involve along the control process evolution. Results from simulation shown a satisfactory control system performance of the tomato-seedling crop-greenhouse system (Patiño H. *et al*, 2004).

3.5. LMI

The control law synthesis to regulate the climatic conditions passes by a control model that represents imperfectly the reality. From the moment that Bennis *et al* (2008) use a model whose validation is limited, it becomes necessary to consider the robustness of this control law, that is, in a qualitative way, the aptness to use models to regulate the internal environment of the greenhouse. By the robust approach, we aim at the possibility to guarantee the closed-loop stability and to maintain the variations of the internal climatic variables in acceptable ranges and proportions fixed by the operation conditions of the greenhouse. Bennis *et al* (2008) propose herein to apply H_2 approach which is appropriate to this problem. The controller synthesis is based on the Linear Matrix Inequality (LMI) formalism as optimization tool. This formalism is today an effective tool to solve many control problems, thanks to the progress of the algorithms of optimization and the availability of the convivial computer tools. The equations propose is (35) and (36):

$$\hat{x}(k + 1) = a\hat{x}(k) + b_p\hat{p}(k) + b_p\hat{u}(k) \quad (35)$$

$$y(k) = \hat{x}(k) \quad (36)$$

Where: $x(k) = [Ti(k) Hi(k)]^T$ the state vector $\hat{p}(k) = [Te(k) He(k) Rg(k) Vv(k)]^T$ the meteorically disturbances vector, $\hat{u}(k) = [Ch(k) Br(k) Ov(k) Om(k)]^T$ the control vector.

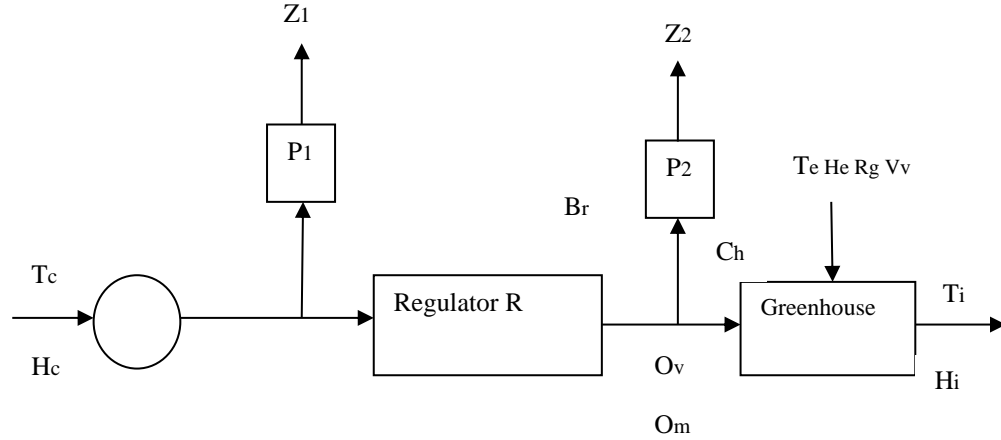


Figure 10. The closed loop block diagram (Bennis et. al, 2008)

Figure 10 shows the schematic closed-loop block diagram where R designates a discrete-time multivariable regulator. Tc and Hc represent respectively, the setpoints of the internal temperature and hygrometry. In order to control the errors and command variables, Bennis *et al* (2008) introduce two constant weighting matrices P1 and P2, and define the following controlled variables noted Z1 (37) and Z2 in (38):

$$Z_1 = \begin{bmatrix} Z_{11} \\ Z_{12} \end{bmatrix} = P_1 \begin{bmatrix} Tc & Ti \\ Hc & -Hi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & 0 \\ 0 & P_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Tc & Ti \\ Hc & -Hi \end{bmatrix} \quad (37)$$

$$Z_2 = \begin{bmatrix} Z_{21} \\ Z_{22} \\ Z_{23} \\ Z_{24} \end{bmatrix} = P_2 \begin{bmatrix} Ch \\ Br \\ Ov \\ Om \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_{24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Ch \\ Br \\ Ov \\ Om \end{bmatrix} \quad (38)$$

The internal state of the plant has been defined by two variables, namely the internal temperature and hygrometry ones. These two variables are correlated and strongly sensitive to the external meteorological conditions to the greenhouse. Simulations results show a good performance of the proposed controller despite the high interaction between the process variables and the external meteorological conditions. The Linear Matrix Inequality used as mathematical optimization tool solves the control design problem. The essential advantage of this approach is the needless of a highly effective control model of the process. The method takes into consideration the strong interaction among the regulated variables and between these variables and external perturbations, even though based on simple model and linearity and stationary assumptions (Bennis *et al*, 2008).

4. Discussion

All variables control systems for greenhouses these are developed taking into account the conditions that we believe necessary, butte conditions that should be taken into account and who we indicate the necessary conditions should be biosensor plants, such as a size house who decided to regulate the temperature are the people who lived there not so I think people outside need to find a way to really know you want the plant and it is this that determines the control of environmental conditions.

Short-term or I think the trend is to develop systems that take into account consumption to Offer Favorites and profitable for the industry.

5. Conclusion

We can see that different people try to design the way of implemented system control in environment chamber and greenhouse, they work in various aspects for example some give importance at soft control of variable and others of the efficient of their control system or energy balance in this recent and finally someone try to do robust system for implemented, but all work theirs have one finality propose a comfortable conditions for agriculture, and the best way for to do this will depend on the needs and requirements that you have.

References

Bennisa,d N., Duplaixb J., Eneab G., Halouac M., Youlald H., 2008. Greenhouse climate modelling and robust control. Elsevier computers and electronics in agriculture 6 1 96–107.

Blasco X., Martínez M., Herrero J., Ramos C., Sanchis J., 2006. Model-based predictive control of greenhouse climate for reducing energy and water consumption. Elsevier Computers and Electronics in Agriculture 55 (2007) 49–70.

Caponetto R. Fortuna L., Numari G., Occhipinti L., 1998. A Fuzzy Approach to Greenhouse Climate Control. AACC.

Caponetto R. Fortuna L., Numari G., Occhipinti L., Xibilia M., 2000. Soft Computing for Greenhouse Climate Control. IEEE

Chunfeng Z. and Yoghui C., 2011. Applications of DMC-PID Algorithm in the Measurement and Control System for the Greenhouse Environmental Factors. IEE.

Hasni, A., Draoui, B., Bounaama, F., Tamali, M., Boulard, T., 2006. Evolutionary algorithms in the optimization of natural ventilation parameters in a greenhouse with continuous roof vents. Acta Hortic. (ISHS) 719, 49–56.

Hu H. and Xu L., 2010. Multi-Objective Tuning of Nonlinear PID Controllers for Greenhouse Environment using Evolutionary Algorithms. IEEE.

Hu H. and Xu L., 2010. Nonlinear Adaptive Neuro-PID Controller Design for Greenhouse Environment Based on RBF Network. IEEE.

Lanfang P., Wanliang W., Qidi W., 2000. Application of Adaptive Fuzzy Logic System to Model for Greenhouse Climat. IEEE.

Nachidit M. Benzaouia A., Tadeo F., 2006. Temperature and humidity control in greenhouses using the Takagi-Sugeno fuzzy model. IEEE.

Patiño H., Pucheta J., Fullana R., Schugurensky C., Kuchen B., 2004. Neuro-dynamic programming-based optimal control for crop growth in precision agriculture. IEEE.

Taylor J. and Chotai A., 1997. Adaptive PIP control with applications to greenhouse systems and dynamic traffic management. The Institution of Electrical Engineers.



LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
A TRAVÉS DE LA SECRETARÍA DE RECTORÍA

OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

a:

Edgar González Martínez

Por su participación como responsable del proyecto:

"Desarrollo de una cámara para experimentación en plantas automatizada."

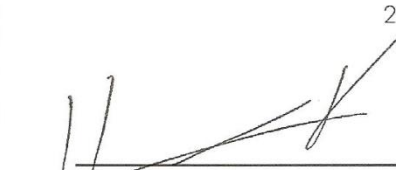
Realizado a través del

FONDO DE PROYECTOS ESPECIALES DE RECTORÍA

FOPER 2012

Centro Universitario

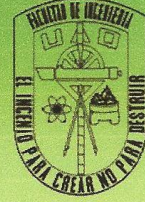
29 de abril 2013



DR. GILBERTO HERRERA RUIZ
RECTOR



DRA. REBECA DEL ROCÍO PENICHE VERA
SECRETARIA DE LA RECTORÍA



LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA

Otorga el presente reconocimiento a:

Edgar González Martínez

Por su exposición titulada:

*" Desarrollo de una cámara para experimentación en
plantas automatizada "*

Presentada en el Seminario, de Biosistemas de la Facultad de Ingeniería.
18 de Mayo de 2012. Querétaro, Qro.

Dr. Ramón Guevara González
Representante del CA de Ing. de Biosistemas

M.C. Ricardo Yáñez López
Coordinador del Seminario