



Universidad Autónoma del Estado de México

Centro Universitario UAEM Texcoco



**Prototipo de un Sistema para el control del
microclima en cultivos de flores de ornato en
condiciones de invernadero**

Tesis

Que para obtener el grado de
Maestro en Ciencias de la Computación

P r e s e n t a

Félix Ramírez Cervantes

Tutor Académico

Dr. Rodolfo Zolá García Lozano

Tutores Adjuntos

Dr. Adrian Trueba Espinoza
M. en C. Héctor Enrique Gaona Flores

Texcoco, Estado de México

Septiembre de 2011



DICTÁMEN DE AUTORIZACIÓN DE OBTENCIÓN DE GRADO DE MAESTRÍA

Texcoco, Méx., a 19 de septiembre de 2011.



TÍTULO DEL PROYECTO:

PROTOTIPO DE UN SISTEMA PARA EL CONTROL DEL MICROCLIMA EN CULTIVOS DE FLORES DE ORNATO EN CONDICIONES DE INVERNADERO



TESISTA:

FELIX RAMIREZ CERVANTES



DICTAMEN:

NO. DE REVISIÓN: 4

- RECHAZADO
- SUJETO A MODIFICACIONES
- ACEPTADO, CONDICIONADO
- ACEPTADO



OBSERVACIONES GENERALES: Sin observaciones.

Acceptado el trabajo para la Impresión.

Acceptado para la defensa de Grado.

**TITULACION
RECIBIDO**
 Por IRACLEDA GIL
 Texcoco, Méx., a 20 de 09 del 11

COPIA

Tutor Adjunto	Tutor Académico	Tutor Adjunto
 M. en C. Hector Enrique Gaona Flores	 Dr. Rodolfo Zola Garcia Lozano	 Dr. Adrian Trueba Espinoza



Agradecimientos

A la mayor felicidad que me ha dado la vida, mi amada hija América Renee Ramírez Huescas(q.e.p.d.), por siempre te amaré.

A mi esposa por su amor y apoyo incondicional.

A mi mamá(q.p.e.d) y a mi hermano René(q.p.e.d), con mucho cariño.

A mi papá por todo su apoyo.

A mis hermanos y abuelos que siempre han estado a mi lado.

A mis profesores por sus enseñanzas.

A mis tutores por contribuir enormemente con este trabajo de investigación.

Al Dr. Rodolfo Zolá García Lozano, por su gran apoyo y guía en la realización de este trabajo.

A COMECYT por otorgarme el soporte económico sin el cual hubiera sido imposible continuar con mis estudios.

A la UAEM por el acogimiento de esta gran Institución que me permitió realizar mis estudios de maestría.

A mis compañeros estudiantes de maestría, por su amistad, apoyo y compañía.

Resumen

La tecnificación de invernaderos, si bien reporta avances significativos en el rubro del control del microclima, estos son de dos tipos, el primero se basa en la automatización de diversos subsistemas que realizan el control en base a máximos o mínimos de una sola variable o mediante la programación de dispositivos por periodos de tiempo; el segundo reporta sistemas que logran el control multivariable del microclima en el invernadero mediante una aplicación de software acompañada de hardware que en todos los casos revisados son equipos de cómputo con interfaces para el control de los subsistemas a gobernar, esto hace que el costo y condiciones de implementación y operación sean inviables para los usuarios considerados en esta investigación.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un prototipo que da solución al control del microclima en invernaderos de forma multivariable mediante un sistema diseñado a medida, basado en el microcontrolador PIC 16F877. El sistema propuesto opera en base al programa residente en memoria y no depende del procesamiento en un equipo de cómputo. La solución presentada consta de cuatro bloques los cuales son: Sensores, Acondicionadores de señal, Control e Interfaces para los actuadores.

Se trata de un sistema de lazo cerrado, el cual por medio de los sensores toma las medidas de las variables: Viento en el exterior del invernadero, Humedad en el suelo del cultivo, Temperatura y Humedad Relativa en el invernadero; estas medidas son acondicionadas y transmitidas hacia el modulo de control, el cual evalúa y gobierna las acciones de todos los elementos del sistema, con esto se logra que los actuadores ejecuten una combinación de acciones que logran influir en el estado de las variables el cual nuevamente es medido y retroalimentado al sistema para su evaluación. El sistema realizará la operación en todo momento

con la finalidad de mantener las variables consideradas en los niveles aceptables, para que el cultivo se desarrolle en condiciones óptimas.

Se realizaron 3 tipos de pruebas con diversas metodologías para cubrir la mayor cantidad de posibilidades en las que se operará realmente el sistema, las cuales son descritas y presentados los resultados en este trabajo.

Índice General

Índice de Figuras.....	i
Índice de Tablas.....	ii
Capítulo 1	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Delimitación de la investigación.....	6
1.5 Objetivos.....	7
1.5.1 Objetivo general.....	7
1.5.2 Objetivos específicos.....	7
1.6 Antecedentes.....	8
1.6.1 Cultivos en condiciones de invernadero.....	8
1.6.2 Sistemas embebidos.....	18
Capítulo 2	
2.1 Microcontroladores.....	22
2.2 Diferencia entre microprocesador y microcontrolador.....	23
2.3 PIC's.....	28
2.3.1 Gama baja o básica: PIC16C5X con instrucciones de.. 12 bits	28
2.3.2 Gama media: PIC16CXXX con instrucciones de 14 bits..	28
2.3.4 Gama alta: PIC17CXXX con instrucciones de 16 bits.....	29
2.4 El PIC 16F877A.....	30
Capítulo 3	
3.1 Descripción del Sistema Propuesto.....	32
3.2 Descripción del circuito implementado.....	37
3.2.1 Descripción de los circuitos de los sensores.....	38
3.3 Descripción del programa residente en memoria.....	40
3.4 Implementación del Prototipo.....	44

Capítulo 4	
4.1 Pruebas.....	56
4.2 Resultados.....	60
Conclusiones.....	62
Trabajos Futuros.....	64
Bibliografía.....	66
Anexo A. Diagrama de bloques del PIC 16F877A.....	70
Anexo B. Diagrama del modulo central.....	71
Anexo C. Sensor de Humedad en el Suelo.....	72
Anexo D. Tabla Funcional.....	73
Anexo E. Tabla de Resultados de la Prueba Uno.....	74
Anexo F. Tabla de Resultados de la Prueba Dos.....	75
Anexo G. Tabla de Resultados de la Prueba Tres	76

Índice de Figuras

Figura 1.1 Esquema de una distribución tipo cama.....	10
Figura 2.1 Estructura de un sistema abierto basado en un..... Microprocesador	23
Figura 2.2 El microcontrolador en un sistema cerrado.....	24
Figura 2.3 Esquema de bloques de un procesador digital secuencial..... Síncrono	25
Figura 2.4 Arquitectura de Von Neumann (a) y Arquitectura de Harvard (b).	25
Figura 2.5 Diagrama de Pines del PIC 16F877A.....	31
Figura 3.1 Esquema del Sistema Propuesto.....	32
Figura 3.2 Diagrama de componentes del Sistema Propuesto.....	33
Figura 3.3 Arquitectura del Programa Residente.....	40
Figura 3.4 Sensor de Temperatura.....	45
Figura 3.5 Sensor de Humedad Relativa.....	45
Figura 3.6 Sensor de Humedad en el Suelo (vista posterior).....	46
Figura 3.7 Sensor de Humedad en el Suelo (vista anterior).....	46
Figura 3.8 Toma de medida a un suelo seco.....	47
Figura 3.9 Toma de medida a un suelo húmedo.....	47
Figura 3.10 Rotor del Savonius.....	48
Figura 3.11 Anemómetro.....	49
Figura 3.12 Tarjeta Principal.....	50
Figura 3.13 Pantalla LCD del Sistema.....	51
Figura 3.14 Etapa de salida a los Actuadores.....	53
Figura 3.15 Botones de Control.....	53
Figura 3.16 Sistema completo.....	54

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Humedad en el Suelo.....	11
Tabla 1.2 Escala de vientos Beaufort.....	12
Tabla 1.3 Factores para el diseño de sistemas embebidos.....	21
Tabla 2.1 Principales características del PIC 16F877.....	30
Tabla 3.1 Variables para la programación.....	41
Tabla 3.2 Alias de los Pines utilizados.....	42
Tabla 4.1 Valores determinados de Referencia.....	57
Tabla 4.2 Valores determinados para Pruebas.....	57

Capítulo 1

1.1 Introducción

La producción de flores de ornato bajo invernadero, es una técnica cada vez más utilizada en el sector agrícola. La ventaja del sistema de invernadero sobre el método tradicional a cielo descubierto donde el cultivo se realiza a la intemperie climática, es que se establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo, esta situación permite proteger el cultivo del viento, lluvia, plagas, enfermedades, hierbas y animales. Esta barrera crea un microclima al interior del invernadero, la influencia positiva o negativa que la variación de un factor ambiental ejerce sobre el rendimiento de un cultivo está siempre determinada por la interacción que se establece con los demás parámetros ambientales que concurren a la formación del microclima del invernadero (Alpi, 1990).

Las investigaciones referentes al control del microclima en invernaderos se han limitado a la automatización de los subsistemas que permiten controlar el riego, apertura y cierre de ventilas, ventilación y calefacción por separado. Los desarrollos en esta materia no han logrado el control multivariable apropiado, ya que se ha intentado realizarlo en base a máximos y mínimos respecto de una sola variable por medio de una combinación de programación por separado de sistemas automatizados, lo que ha resultado en una aplicación sin la funcionalidad esperada por el productor. El diseño de un sistema de control de la climatización del invernadero se debe considerar no solo desde el punto de vista de la regulación de la temperatura o de otros parámetros ambientales (luz, viento, humedad, CO₂, etc.), si no bajo la consideración de la importancia del rendimiento general del sistema (Córdoba, 2007). Controlar una sola variable de forma rígida, como lo ofrece la mayoría de los trabajos de automatización actualmente, puede ocasionar una afectación mayor al cultivo ya que puede desencadenar efectos secundarios, que en combinación con las otras variables propician el deterioro del

cultivo o la aparición de alguna enfermedad. Por ejemplo, *el daño por alta humedad puede ser más grave, y en cambio, los grados "perdidos" de temperatura se recuperan rápidamente* (Shany, 2007). Está limitante técnica y científica es la causa de que los productores de flores no adopten las tecnologías existentes, y continúan controlando de forma manual los subsistemas mencionados.

Esta investigación es orientada al diseño y programación de un sistema que ofrezca una solución al problema de control multivariable del microclima de un invernadero. Con este sistema se busca controlar, de forma autónoma e inteligente, un conjunto de subsistemas que definan las condiciones ambientales del invernadero. Consideramos que será necesario incluir, como parte de la programación, la información referente a las condiciones adecuadas para el cultivo de flores de ornato vista desde una perspectiva multivariable. La base de la programación del sistema requiere del diseño de una tabla funcional para el cultivo de las flores de ornato en condiciones de invernadero. Para el diseño e implementación de la misma fue fundamental el apoyo del experto en el tema, en este caso el usuario, que es la Sociedad de Producción Rural de Flores en sus diferentes especies en el Distrito de Texcoco, Estado de México (SOPRODITEX). En esta tabla se indican las combinaciones posibles de la entrada, así como, las salidas que deben ser aplicadas para evitar que el microclima alcance las condiciones no propicias para que el desarrollo de la planta sea el adecuado y evitar la activación de enfermedades.

1.2 Planteamiento del problema

El ciclo de producción de Crisantemo en condiciones de invernadero, se realiza en un lapso aproximado de 3 meses a 3.5 meses (García, 1994). Poder obtener un producto de calidad depende del cuidado y trabajo realizado al cultivo, que inicia con la plantación, "*desbotonamiento*", "*desquioté*" y el corte; para de ahí poder colocar el producto obtenido en el mercado de distribución de flores. Durante todo este proceso es necesario no descuidar ninguno de los siguientes aspectos:

- La humedad en el suelo
- La humedad relativa
- El viento en el exterior
- La temperatura dentro del invernadero

Todas estas variables deben ser controladas apropiadamente según la técnica del cultivo de crisantemo, según registros del usuario consultados el 8 de Enero de 2010, aproximadamente en el 99% de invernaderos de existentes en la región de Texcoco estado de México, se realiza de forma manual. Dependiendo de la cantidad de variables a manipular, el control manual llega a ser muy complicado si se considera que el descuido de uno de estos factores a lo largo del día puede resultar en un producto de mala calidad u ocasionar la pérdida parcial o total del cultivo con las consecuentes pérdidas económicas.

Los sistemas automatizados de producción bajo invernadero disponibles están orientados al control de niveles indeseables para el cultivo (exceso de luz, heladas, exceso o falta de humedad). Con estos sistemas es imposible implementar los modelos de producción de cultivos de alta calidad dado que sólo controlan niveles máximos y mínimos de cada variable, sin tener un control multivariable donde la respuesta de control dependa de más de una variable. En el presente trabajo se identifica la necesidad de desarrollar un sistema de control del microclima que realice de forma autónoma la toma de decisiones del o de los subsistemas a activar y el tiempo de aplicación.

1.3 Justificación

La floricultura en el Estado de México ocupa un lugar importante ya que es un producto de buena demanda y tiene una diversidad de formas, colores y tamaños (García, 1994). En el año agrícola 2008, el Estado de México reporto producción de flor de crisantemo: 2,253.50 has. sembradas y cosechadas; 11,152,250.00 toneladas de producción; 4,949.86 Toneladas/ha de rendimiento; El valor de la producción es de \$1,233,613,000.00, esto según el servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP, 2010). En base a la información anterior, se considera que el proyecto tiene un importante potencial de aplicabilidad en las actividades económicas del Oriente del Estado de México.

En lo referente al área de control del microclima en los cultivos de flores de ornato en condiciones de invernadero, es importante que los parámetros de las diferentes variables del microclima sean adecuados para obtener el mejor cultivo posible. Un control estricto en los cambios de temperatura, de la cantidad de luz, humedad y otras variables tiene un efecto directo durante los diferentes estados de crecimiento de la planta, y por lo tanto en la calidad de flor que se obtiene.

El contar con un sistema que establezca los niveles de cada variable que influyen en el microclima dentro del invernadero durante los diferentes estados de desarrollo de la planta, permitirá a los productores de la región del municipio de Texcoco, Estado de México, un mayor control en las condiciones de crecimiento de las flores, el cual consideramos aportará experiencias cuantificables, con miras a incrementar y mejorar la cantidad y calidad del producto. Por otro lado la comercialización de este producto es posible ya que se tiene un buen nivel de demanda en el mercado de distribución de flores en el Distrito Federal, el Estado de México y otros Estados del interior de la República Mexicana.

Un factor importante para la implementación de esta tecnología es el costo de la misma. Debido a la situación económica de México, este tipo de inversiones se encuentran fuera del alcance de muchos productores, por lo que es necesario el desarrollo de tecnología nacional que resuelva el problema tecnológico, con la visión que tome en cuenta la accesibilidad del producto para las condiciones de los productores. Para los fines del presente trabajo y en base a la experiencia del usuario se considera que el incremento en el costo de infraestructura, razonable, donde se incluya el sistema de control, sensores y actuadores para el control multivariable de temperatura, viento exterior, humedad en el suelo y humedad relativa no debe superar los 3 dólares por metro cuadrado. Con este costo, el sistema de control de un invernadero estará al alcance de la mayoría de los productores que cuenten con la infraestructura necesaria.

1.4 Delimitación de la investigación

Esta investigación se realizó en base a los parámetros aplicables al cultivo de la variedad de flor denominada *Crisantemo Hartman (Chrysanthemum SP)* en invernadero, ya que está comprobado que es factible su producción en la región del municipio de Texcoco, Estado de México.

La Sociedad de Producción Rural de Floricultores del Distrito de Texcoco (SOPRODITEX) es el usuario a quien está dirigida la investigación. Con la participación de ésta sociedad de productores, se determinó en base a las características de los invernaderos instalados en la región, que el tipo de invernadero a considerar para los estudios debe ser tipo cenital. En este sentido también se definió que los subsistemas a controlar serán: Apertura y Cierre de ventilas (cortineros), Ventilación, Calefacción y Riego por goteo.

El sistema se planteo implementarlo a nivel de prototipo, con miras a la implementación posterior en un invernadero de características y aplicaciones reales del cultivo especificado. Las señales de entrada provenientes de los sensores implementados son recolectadas mediante medidas que estos realicen en condiciones reales de operación. Las interfaces para los actuadores de salida serán probadas con relevadores e indicadores de funcionamiento de los subsistemas a controlar.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar un prototipo de sistema de control inteligente del microclima para el cultivo de flores de ornato en condiciones de invernadero.

1.5.2 Objetivos específicos

El diseño del prototipo estará constituido por tres elementos: Medición de las variables a controlar, Control e Interfaces de salida a los actuadores.

- Las variables a controlar son: Temperatura, Viento en el exterior del invernadero, Humedad Relativa y Humedad en el Suelo. En base al estado de estas variables y a las condiciones establecidas en la tabla de funcionalidad el sistema de control presentará en sus interfaces de salida las señales que en fase de implementación activarán los diferentes actuadores.
- La etapa de control estará basada en una tabla de funcionalidad que contenga todas las combinaciones reales posibles de entradas y salidas del sistema. La tabla de funcionalidad concentrará, en la medida de lo posible, la experiencia y los conocimientos teóricos que fundamentan el cultivo de flores de ornato.
- Para el control del microclima del invernadero se contará con las interfaces de salida a los siguientes actuadores:
 - Subsistema de Riego por goteo
 - Subsistema de Apertura y cierre de ventilas
 - Subsistema de Calefacción y
 - Subsistema de control de Ventilación

1.6 Antecedentes

1.6.1 Cultivos en condiciones de invernadero

Un invernadero es toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas (Caldari, 2007).

Para elegir el tipo de invernadero adecuado es importante considerar las condiciones climáticas del área de instalación. A partir de este análisis se determina el material de construcción del invernadero, las dimensiones y sobretodo el color, calibre y tipo de plástico a utilizar (Cerde, 2008).

Por su conformación estructural, según Dennis (2007), los invernaderos se pueden clasificar en:

- *Tipo Cenital.* Para zonas poco ventosas donde pueda dificultarse la ventilación del invernadero es conveniente optar por un sistema de ventilación cenital , ésta consiste la ubicación de las ventanas en la parte más alta del techo para crear un efecto de tiraje en el cual no necesitamos de la acción del viento para lograr la renovación del aire. El aire caliente se concentra en la parte superior del invernadero, y al abrir las ventanas éste sale, simplemente porque sigue subiendo, y a la vez se crea una succión de aire fresco desde las aberturas de abajo, que ocupa el lugar del aire que está saliendo. De ésta manera, con solo abrir las ventanas cenitales, y las puertas o las ventanas laterales, logramos una renovación constante del aire del invernadero inclusive durante los días totalmente calmos.

- *Tipo raspa y amagado.* Su estructura es muy similar al tipo parral pero varía la forma de la cubierta. Se aumenta la altura máxima del invernadero en la cumbre, que oscila entre 3 y 4,2 m, formando lo que se conoce como raspa. En la parte más baja, conocida como amagado, se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante vientos y horquillas de hierro que permite colocar los canalones para el desagüe de las aguas pluviales.
- *Asimétricos.* Difiere de los tipo raspa y amagado en el aumento de la superficie en la cara expuesta al sur, con objeto de aumentar su capacidad de captación de la radiación solar. Para ello el invernadero se orienta en sentido este - oeste, paralelo al recorrido aparente del sol.
- *Capilla (a dos aguas, a un agua).* Los invernaderos de capilla simple tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas.
- *Doble capilla.* Los invernaderos de doble capilla están formados por dos naves yuxtapuestas
- *Tipo túnel o semicilíndrico.* Se caracteriza por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. El empleo de este tipo de invernadero se está extendiendo por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas.
- *De cristal o tipo Venlo.* Este tipo de invernadero, también llamado Venlo, es de estructura metálica prefabricada con cubierta de vidrio y se emplean generalmente en el Norte de Europa.

Materiales empleados en las estructuras:

La estructura es el armazón del invernadero. Está constituida por pies derechos, vigas, cabios, correas, etc., que soportan la cubierta. Su función principal es la de aislar el cultivo de las condiciones ambientales externas tales como viento, lluvia, nieve, etc... En estas estructuras se instalan sobrecargas de *entutorado* de plantas, instalaciones de riego, ventilación, calefacción, etcétera.

Distribución topológica de los invernaderos:

Las tres formas de distribución de los sembradíos más importantes que se utilizan en los invernaderos son: Tipo cama, en maceta y a ras de piso.

La construcción de camas se hace con el fin de mejorar la alineación y humedad del suelo con el objetivo de alcanzar las condiciones óptimas para las raíces. Las dimensiones de las camas varían dependiendo del cultivo, pero generalmente se elaboran de 30m de largo por 1m de ancho y una altura de 5 a 10cm. Por ejemplo, para el cultivo del clavel las dimensiones de la cama regularmente es de 1.05m, con pasillo de entre 0.4 y 0.5 m. En el caso de la gerbera, la dimensión de la cama es de aproximadamente 0.6m, con pasillos entre 0.4 y 0.5m. En la Figura 1.1 se muestra el esquema de un invernadero con distribución de camas (Cerde, 2008).

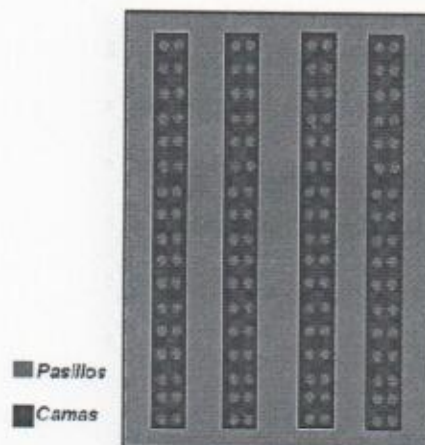


Figura 1.1 Esquema de una distribución tipo cama.

El desarrollo de los cultivos en sus diferentes fases de crecimiento, está condicionado por cuatro factores ambientales o climáticos: temperatura, humedad relativa, luz y CO₂. Para que las plantas puedan realizar sus funciones es necesaria la conjunción de estos factores dentro de unos límites mínimos y máximos, fuera de los cuales las plantas cesan su metabolismo, pudiendo llegar a la muerte(Sánchez, 2001).

Para los cultivos en general se dice que el suelo está saturado cuando todos sus poros están llenos de agua, si se permite que un suelo saturado drene libremente, en este caso se dice que el suelo esta a *capacidad de campo*. Esta situación es muy favorable para el desarrollo de los cultivos que encuentran en el suelo agua abundante retenida con una energía que es fácilmente superada por la capacidad de succión de las raíces. Al mismo tiempo que el suelo está lo suficientemente aireado para permitir la respiración radicular. Por el contrario existe el estado denominado *punto de marchitez*, que se caracteriza porque las plantas absorben el agua del suelo con mucha dificultad y experimentan marchitez irreversible, en la Tabla 1.1 se observan los valores de capacidad de campo, punto de marchitez y humedad disponible para diferentes texturas de suelo (Humedad en el suelo, s.f.).

Tabla 1.1 Humedad en el Suelo.

HUMEDAD EN EL SUELO			
TEXTURA SUELO	CAPACIDAD CAMPO	P. MARCHITAMIENTO	HUMEDAD DISPONIBLE
Arenoso	9%	2%	7%
Arenoso-Franco	14%	4%	10%
Franco	23%	9%	14%
Arenoso-Limoso			
Franco Arenoso+ materia orgánica	29%	10%	19%
Franco	34%	12%	22%
Franco-Arcilloso	30%	16%	14%
Arcilloso	38%	34%	14%
Arcilloso con buena estructura	50%	30%	20%

Para proteger la estructura de los invernaderos y la integridad del mismo cultivo es importante conocer las velocidades de viento que los puede dañar. Para esto se cuenta con tablas que categorizan la velocidad del viento, una de las más importantes es la Escala de Viento de Beaufort. Esta escala es un sistema de estimación de la fuerza de los vientos. Fue ideada por el navegante inglés Beaufort basándose en los efectos de la fuerza del viento sobre la superficie terrestre y sobre el mar (ASUR, s.f.), en la Tabla 1.2 se muestra la mencionada escala que inicia con el nivel 0 con velocidades de viento de hasta 1 km/h hasta llegar al nivel 12 con más de 116 km/h.

Tabla 1.2 Escala de vientos Beaufort.

Velocidad del viento en km/h	Número de Beaufort y efectos del viento sobre la tierra	Designación oficial
0-1	El humo se alza verticalmente.	Calma
2.5	El humo muestra la dirección del viento, pero no las veletas.	Flojo
6-11	Se nota el viento en la cara, las hojas susurran, las veletas se mueven.	-
13-19	Se mueven las hojas y las pequeñas ramitas, el viento despliega una bandera ligera.	Suave
20-29	El viento levanta el polvo y papales ligeros.	Moderado
30-39	Los pequeños árboles con hojas comienzan a oscilar, en las aguas interiores aparecen pequeñas olas con cresta.	Fresco
40-50	Grandes ramas se mueven, alambres telegráficos zumban, difícil manejo del paraguas.	Fuerte
51-61	Árboles enteros oscilan, caminar frente al viento resulta difícil.	-
62-74	Se rompen pequeñas ramas de árboles, los automóviles son desviados de su marcha.	Galerna
75-87	Pequeños daños estructurales (se desprenden remates de chimeneas y tejas de pizarra).	-
88-100	Son arrancados árboles, considerables daños estructurales.	Temporal
101-115	Grandes daños.	-
116 o mas	Grandes daños.	Huracán

El cultivo del crisantemo bajo invernadero requiere de las siguientes condiciones básicas de clima y suelo para lograr una buena producción, García (1994):

Temperatura. La temperatura óptima para su desarrollo es de 15 a 25 grados centígrados durante el día y 15 grados durante la noche. Temperaturas elevadas durante el día (mayores a 27 grados) causan formación de brácteas en los botones. En tal caso, los "centros" de las flores continúan su crecimiento vegetativo y no se desarrollan en la forma deseada. Temperaturas nocturnas de 12 a 15 grados son adecuadas para formar flor de buena calidad.

Suelo. La planta es exigente en suelos con buena estructura, compuestos de 50% de sustrato o tierra, 30% de agua y 20 % de aire. Adiciones periódicas de materia orgánica favorecen lograrlo. El pH adecuado para el desarrollo del cultivo es de 6.2 a 7, y para aumentarlo se puede utilizar caliza molida, calcita o cal hidratada, cualquiera de ellas en cantidad de 2 toneladas por hectárea.

Ventilación. Está es benéfica ya que permite que las hojas transpiren, esto es, que liberen humedad, y ayuda a conservar a la planta fresca bajo temperaturas elevadas. La ventilación adecuada también puede prevenir enfermedades fungosas, pues altas densidades de plantación suelen asociarse con mayor incidencia de enfermedades.

Humedad. Durante las primeras etapas del desarrollo del cultivo se requiere la mayor humedad; posteriormente sólo se necesita proporcionar humedad mínima para evitar el marchitamiento de la planta o que los tallos adquieran una consistencia semileñosa. Una vez realizada la plantación del cultivo, se debe iniciar la aplicación de riegos. La planta requiere una lámina de riego semanal de 25 a 33 milímetros, equivalente a 25 litros por metro cuadrado; en consecuencia, la frecuencia de riegos dependerá de la estación del año. La humedad relativa debe ser de 65 a 70%.

Luz. Respecto a la iluminación, el crisantemo se clasifica como cultivo de día corto, el cual requiere noches largas para iniciar la floración. Eso significa que más de 14 horas de luz promueven el crecimiento vegetativo, pero también que días con menos de 12 horas de luz inducen a la floración. Es necesario suministrar iluminación artificial en el área de producción para simular días largos y retrasar el desarrollo del botón, tanto de la planta madre como de los esquejes, desde la etapa del enraizado hasta 3 semanas después. Se debe colocar una hilera de focos de 100 watts por cada 2 camas de cultivo, espaciándolas a 250 cm a una altura de 180 cm sobre las plantas.

El crisantemo como cualquier otro cultivo floral, se encuentra expuesto a daños provocados por el ataque de plagas y enfermedades. A partir de la plantación, es importante establecer un programa para su control, en que se dé prioridad a la observación diaria y meticulosa de las plantas en todo el invernadero mediante visitas matutinas y vespertinas para muestrear la presencia de parásitos; de esta manera se podrá identificar el daño y controlar con oportunidad su multiplicación y avance. El cultivo del crisantemo es afectado principalmente por las siguientes plagas: *gallina ciega*, *gusano trozador*, *minador de la hoja*, *pulgón*, *mosquita blanca*, *trips* y *araña roja*. Respecto a enfermedades, destacan las siguientes: *roya blanca*, *mildiú o cenicilla* y *Rizhotocnia*, *Fusarium* o *Verticillum* sp. (García, 1994).

El ciclo de producción del crisantemo abarca de 12 a 14 semanas. El periodo desde la plantación a la cosecha está determinado por la variedad utilizada y la época de plantación; generalmente, transcurren cerca de 9 semanas entre el retiro de la iluminación y el inicio de la cosecha (García, 1994).

El desarrollo de tecnología para el control del microclima de invernaderos se encuentra reportado en algunos trabajos de investigación como:

- Propuesta de diseño de un sensor de conductancia aerodinámica y de velocidad de aire para el control de la ventilación en invernaderos (Córdoba, 2007). Donde se realizó el diseño de un sensor de velocidad de viento a precio reducido (\$200), que consiste en discos de aluminio de 6'' de diámetro, una resistencia que soporta temperaturas de hasta 1200 grados Celsius y una interface que transforma los datos de los transistores a señales digitales. Se reportaron pruebas en el túnel de viento que también se diseñó y construyó para este proyecto a diferentes temperaturas y horas, comprobándose los datos obtenidos del sensor con los obtenidos de la estación Skywatch, obteniendo resultados satisfactorios y así se pudo obtener la ecuación del sensor que modela la velocidad del aire. Esta ecuación fue resultado de una regresión con datos experimentales y es con la siguiente. $Y=4.221x^{-0.69}$, $r^2 = 0.968$, donde r^2 es la veracidad de la fórmula. Con el análisis estadístico y en el análisis de varianza se reportó que no existen diferencias significativas en las medidas de los datos, con lo que se indica que los datos son consistentes.
- Desarrollo de un software para el control automático de temperatura interna de un invernadero (Casillas, 2003). El software diseñado es instalado y operado en una computadora de escritorio Pentium III, y realiza el control automático para la temperatura del invernadero, básicamente con la operación de apertura y cierre de ventilas, así como la operación de un calentador y un ventilador, fue programado en Visual Basic 6, y cuenta con una base de datos que incluye 14 diferentes cultivos, con sus respectivos valores óptimos, máximos y mínimos de temperatura de acuerdo a sus requerimientos en las etapas fenológicas. Para el control de la temperatura el software tiene la capacidad de tomar decisiones de acuerdo a los requerimientos de cada cultivo, mediante la adquisición de datos por medio de un sensor LM35DZ y un microcontrolador PIC 16F877 y la interfaz de potencia para el control de los actuadores, se utiliza la tarjeta SOLARIS DIGITAL para puerto

paralelo y una tarjeta elaborada de acuerdo a las necesidades de los actuadores; los actuadores que proponen utilizar son motor de ventilador, motor para ventila y calentador.

- Diseño de un Sistema de Monitoreo para el Control Automático del Microclima en Invernaderos (Capraro, 2005). Se muestra el diseño y las características de un software empleado para realizar el monitoreo y la configuración del sistema de control automático de un invernadero. El mismo es ejecutado en una computadora personal bajo el sistema operativo Windows y permite efectuar el continuo seguimiento de las variables del microclima en el invernadero y de las acciones de control aplicadas a los actuadores; como así también, modificar la configuración del sistema de control. Los algoritmos que conforman el sistema de control se ejecutan desde un microcomputador local. Este dispositivo electrónico se encuentra instalado en el invernadero, el mismo se basa principalmente en la programación de un microcontrolador MC68HC908GP32 de Motorola y es el encargado de controlar en forma autónoma la temperatura, la humedad relativa y la concentración de dióxido de carbono (CO₂), en el interior del invernadero, mediante una estrategia de control que acciona actuadores para la apertura o cierre de ventanas, calefaccionado o humectación del ambiente, e inyección de CO₂.
- Automatización del riego con base en dispositivos móviles (Lugo, 2010). Se presenta un prototipo para automatizar el riego en una zona con distintos cultivos, donde cada uno de ellos recibe la cantidad de agua necesaria en el momento que se requiera para su óptimo crecimiento. El prototipo consiste en una integración de tres tecnologías, computación, comunicaciones y electrónica. El sistema usa las variables meteorológicas temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, precipitación y radiación global. También se le

proporciona la información del suelo (porcentaje contenido de arena, arcilla, materia orgánica y densidad aparente); y de los cultivos (tipo, duración, funciones de crecimiento radicular). Con esta información se elabora un balance hídrico, el cual resulta en la decisión de regar o no alguno de los cultivos. El software envía señales digitales de salida por el puerto serial RS232 de una computadora hacia un dispositivo electrónico, para accionar los dispositivos físicos de riego y complementarios (electroválvulas, ventiladores, lámparas). Se integro un subsistema de comunicación bidireccional PC-Modem GSM-Celular que permite encender/apagar un dispositivo mediante comandos remotos desde un teléfono celular, como también el envío de alarmas y avisos que indican el estado del sistema por medio de mensajes de texto vía celular y correos electrónicos. El sistema de automatización se diseño en módulos, lo que permite que se adapte a diversas aplicaciones que sean susceptibles de automatización y control. Se describen los dispositivos y programas que componen el sistema, y las entradas, salidas y proceso que controlan el riego automatizado.

- Ambiente de Simulación, Monitoreo y Control Remoto de un Sistema de Riego por Goteo (Capraro, 2009). En este trabajo se presenta el diseño y desarrollo de una interface hombre-máquina con la plataforma de programación LabView, de National Instruments. La interface se programó considerando dos modos de operación complementarios: como laboratorio virtual y como sistema de monitoreo y control remoto. En ambos casos, tanto por simulación o sobre el sistema real respectivamente, el objetivo es controlar un sistema de riego por goteo instalado en un olivar joven. La aplicación que se presenta involucra: el desarrollo de un programa informático para el monitoreo continuo, simulación y control de la planta piloto; la instalación de una red de sensores de humedad de suelo, la construcción de hardware de

potencia para el accionamiento remoto del sistema de riego; y la transmisión y almacenamiento de datos.

- Greenhouse Monitoring with Wireless Sensor Network (Ahonen, 2008). En este trabajo, desarrollaron un nodo de sensores inalámbricos para el monitoreo del invernadero mediante la integración de una plataforma de sensores proporcionada por *sensinode Ltd.* con tres sensores comerciales capaces de medir las cuatro variables del clima. También demostraron que la red puede detectar las diferencias locales en el clima del invernadero causadas por diversos trastornos, como la luz directa del sol cerca de las paredes del invernadero. Este artículo fue desarrollado en el ámbito de la supervisión y el control de invernaderos, y que tiene que ver con la viabilidad de redes de sensores desarrollados y su fiabilidad.
- Distributed Measurement and Control System Used in Agricultural Greenhouse Based on Single-chip Controller (Ji, 2007). Sistema controlador de Temperatura, humedad y espesor de CO₂. Basado en la teoría de control difuso y la tecnología de control por ordenador, el principio de funcionamiento y las funciones principales de los invernaderos inteligentes con sistema de control distribuido se introducen. Este sistema utiliza una PC como un equipo host y los instrumentos inteligentes con MCS-51 microcomputadora de un solo chip como sistema de cómputo secundario.

1.6.2 Sistemas embebidos

Por miles de años la raza humana uso sus músculos y la labor de los animales para construir un mundo con pequeñas diferencias de lo ya conocido por sus ancestros.

En el área de la computación se puede destacar que en 1946 programadores crearon un software para la máquina ENIAC que ejecutaba procesos y operaciones mediante instrucciones en lenguaje máquina. Dos años más tarde, la máquina experimental de pequeña escala de la Universidad de Manchester llamada Baby, implementó el concepto de programa almacenado de Von Newman, por primera vez soportado en un equipo. En 1957, Fortran, el primer lenguaje de alto nivel, debuta y cambia por siempre la naturaleza de la programación. Para 1964, Dartmouth BASIC, introduce millones de nuevas técnicas para las maravillas de la computación. Tres años más tarde casi como un contrapunto, ODP (programación orientada a objetos) apareció en la apariencia del Simula 67. C, que se utiliza como el estándar para desarrollo de sistemas embebidos, y C++ aparecieron en 1969 y 1985 respectivamente. Para los años 90's una gran contra revuelta guía el diseño un poco más alto inundando con nuevas metodologías de programación incluidas programación eXtrema, SCRUM, desarrollo Test-Driven, desarrollo Feature-Driven, RUP (rational unified process) y varios más (Ganssle, 2008).

En todo este proceso e históricamente los sistemas embebidos fueron programados por diseñadores de hardware, ellos solo entendían de detalles de Bits y Bytes de su última creación. Con el paradigma del microprocesador como controlador, fue natural para la ingeniería digital diseñar también el código para un secuenciador simple y de esta forma también la obligación a desarrollar paralelamente el correspondiente software de aplicación.

En la primera década del siglo XXI, los microprocesadores tienen un uso como componentes fundamentales en sistemas electrónicos modernos, ya que, incrementan su capacidad y proporcionan una mejor ejecución en las tareas que se encomiendan reduciendo su costo. Cuando un sistema electrónico incorpora un microprocesador, ofrece herramientas de control adicionales con tan solo un incremento relativo en el costo de software de desarrollo. Debido a esto cada semana millones de pequeños chips de computadora salen de fábricas como

Motorola, National, Mitsubishi, etc., y encuentran diversas y nuevas aplicaciones en productos de uso común como sistemas de transporte, producción de comida, defensa militar, sistemas de comunicación, etc.(Maxinez, 2007).

Estos sistemas electrónicos basados en microprocesadores y diseñados para aplicaciones específicas se les conocen como *sistemas embebidos*, se trata de un sistema cuyo hardware y software se diseñan específicamente para una función, optimizando su funcionamiento para resolver uno o varios problemas con eficiencia. El término *embebido* se refiere al hecho de que la microcomputadora es encapsulada en un solo circuito. Estos sistemas interactúan con todo lo que los rodea y funcionan como el monitor o el control de algún proceso. Este hardware suele diseñarse a nivel de componente en un circuito integrado o de tarjeta; por otra parte, el software que controla al sistema se programa en una memoria de solo lectura (ROM) y no es accesible para el usuario del dispositivo.

Los sistemas embebidos están compuestos por: microprocesador, memoria, entradas y salidas a periféricos y un programa de aplicación dedicado grabado permanentemente en la memoria. Un programa de aplicación para un sistema embebido forma parte del sistema y por lo general se ejecuta sin necesidad de un sistema operativo, por tanto, la aplicación del programa ha de incluir el software para controlar e interactuar con los dispositivos periféricos del sistema (Maxinez, 2007).

Estos sistemas están presentes en la vida diaria en lavadoras, autos, televisores, calefacción, sistemas de alarma, procesadores de alimentos, celulares, etc. Además, van desde lo más simple a lo muy complejo, ya que controlan desde las luces en los zapatos tenis hasta los sistemas de control de los aviones militares. Asimismo, cuentan con varias entradas y salidas a otros sistemas o periféricos que son dispositivos conectados al sistema principal y controlado por el microprocesador.

Como puede advertirse, en el diseño de sistemas embebidos hay que considerar diferentes factores, de los cuales los más importantes según Maxinez (2007), son los contenidos en la Tabla 1.3:

Tabla 1.3 Factores para el diseño de sistemas embebidos.

Costos:
<ul style="list-style-type: none"> - Costos de sistema que incluyen entrenamiento, desarrollo y pruebas - Costos de material que comprenden partes y refacciones - Costos de manufactura que dependen del número y complejidad de los componentes - Costos de mantenimiento que incluyen revisiones para arreglar errores y analizar si es posible aumentar o escalar el proyecto
Memoria:
<ul style="list-style-type: none"> - La memoria de solo lectura (ROM) debe tener el tamaño necesario para soportar instrucciones y arreglos de datos - La dimensión de la memoria de acceso rápido (RAM) debe ser suficiente para soportar variables globales y locales - La memoria EEPROM tiene que aceptar arreglos de consultas que están en un arreglo configurable
Arquitectura:
<ul style="list-style-type: none"> - Funciones especiales como números complejos, lógica difusa, multiplicación/acumulador - Es deseable que tenga velocidad para ejecutar el software en tiempo real - El ancho de banda de los dispositivos de entrada/salida afecta la rapidez de tránsito de datos en la entrada/salida - El tamaño de datos 8, 16 y 32 bits debe coincidir con los datos a procesar - Las operaciones numéricas como multiplicaciones, divisiones, signo y punto flotante - Las funciones especiales como números complejos, lógica difusa, multiplicación/acumulador
Comunicación:
<ul style="list-style-type: none"> - Suficientes puertos para manejar todas las señales digitales de entrada/salida - Suficientes puertos para aceptar la interfaz con otra computadora o dispositivo de entrada/salida
Apoyos:
<ul style="list-style-type: none"> - Fuentes disponibles - Tamaño del circuito - Disposición de lenguajes de programación, compiladores y simuladores

Capítulo 2

2.1 Microcontroladores

Los sistemas embebidos que controlan los aparatos y que auxilian a la humanidad, en la segunda década del siglo XXI, son el resultado de los avances tecnológicos en base a diferentes técnicas, la más popular es la utilización de microcontroladores. Recibe el nombre de controlador el dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos, por ejemplo, el controlador que regula el funcionamiento de un refrigerador dispone de un sensor que mide constantemente la temperatura interna y cuando traspasa los límites preestablecidos, genera las señales adecuadas que disparan los actuadores que intentan llevar el valor de la temperatura dentro del rango estipulado.

En la actualidad, todos los elementos del controlador se han podido incluir en un chip, el cual recibe el nombre de microcontrolador, entonces un microcontrolador es un circuito de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador.

Angulo (2003) describe al microcontrolador como un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de una computadora. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Esta última característica es la que le confiere la denominación de "controlador incrustado" (*embedded controller*). En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar, y todos los recursos complementarios disponibles tienen como única finalidad atender sus requerimientos. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada.

Un microcontrolador es capaz de realizar la tarea de muchos circuitos lógicos como compuertas AND, OR, NOT, NAND, conversores A/D, D/A, temporizadores, decodificadores, etc., simplificando todo el diseño a una placa de reducido tamaño y pocos elementos (Reyes, 2006).

2.2 Diferencia entre microprocesador y microcontrolador

El microprocesador contiene la Unidad Central de Proceso (UCP), también llamada procesador, de una computadora. La UCP está formada por la Unidad de Control, que interpreta las instrucciones, y el camino o bus de Datos, que las ejecuta. Las patitas de un microprocesador sacan al exterior las líneas de sus buses de direcciones, datos y control, para permitir conectarle con la Memoria y los Módulos de E/S y configurar una computadora implementada por varios circuitos integrados. La disponibilidad de los buses en el exterior permite que se configure a la medida de la aplicación (ver Figura 2.1.). Se dice que un microprocesador es un sistema abierto porque su configuración es variable de acuerdo con la aplicación a la que se destine (Angulo, 2003).

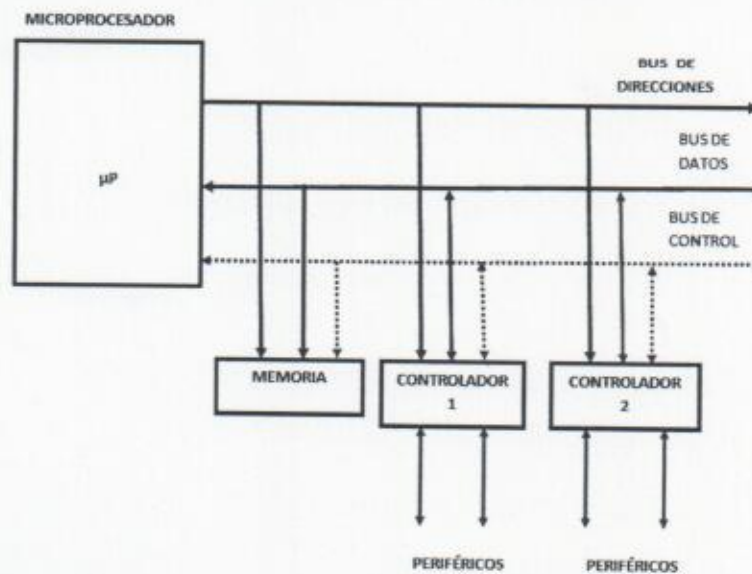


Figura 2.1 Estructura de un sistema abierto basado en un microprocesador.

El microcontrolador, por otro lado, es un sistema cerrado. Todas las partes del microcontrolador están contenidas en su interior y sólo salen al exterior las líneas que gobiernan los periféricos (ver Figura 2.2), esto es, contiene una computadora completa cuyas características son limitadas y no se pueden modificar.

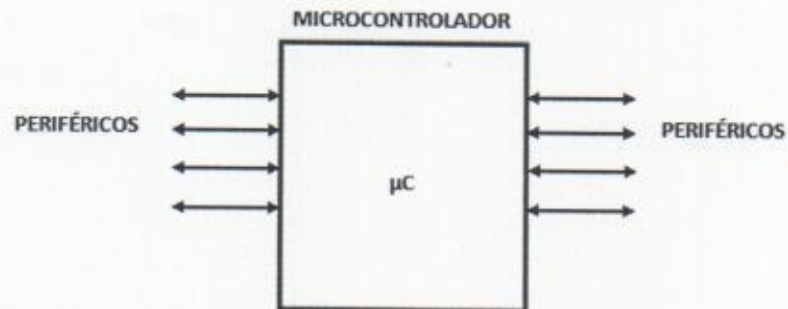


Figura 2.2 El microcontrolador en un sistema cerrado.

Los microcontroladores son considerados procesadores digitales secuenciales síncronos (Mandado, 2007), estos tienen asociados tres conceptos principales que son:

- La arquitectura interna
- El juego de instrucciones
- Las interfaces de entrada/salida

La arquitectura interna de un procesador digital es el conjunto de atributos que tienen un impacto directo en la ejecución del proceso que lleva a cabo. En la Figura 2.3 se muestra el esquema de bloques de un procesador digital secuencial síncrono, formado por la unidad de control y una unidad operativa compuesta a su vez por una unidad de memoria y la unidad aritmética lógica.

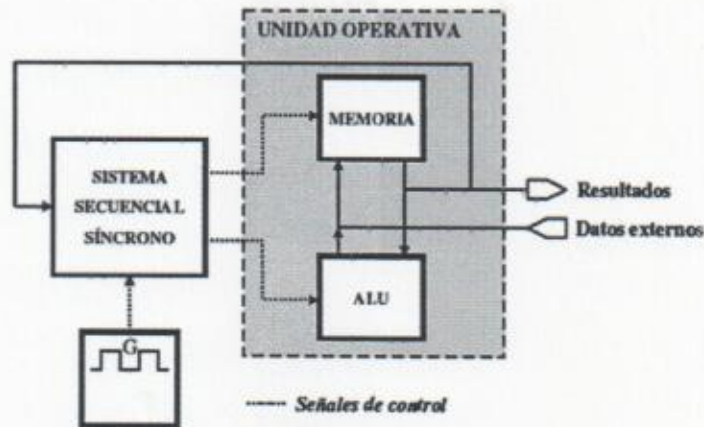


Figura 2.3 Esquema de bloques de un procesador digital secuencial síncrono.

Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de Von Neumann, la necesidad de conseguir elevados rendimientos en el procesamiento de las instrucciones ha desembocado en el empleo generalizado de procesadores con arquitectura Harvard ya que mientras en la primera se caracterizaba porque la UCP (Unidad Central de Proceso) se conectaba con una memoria única, donde coexistían datos e instrucciones a través de un sistema de buses, en la segunda dispone de dos memorias independientes una que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos, ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias (Pallás, 2007a) aumentando con esto el rendimiento ya que se mejoran las velocidades de acceso a instrucciones y datos, la Figura 2.4 muestra estos dos modelos.

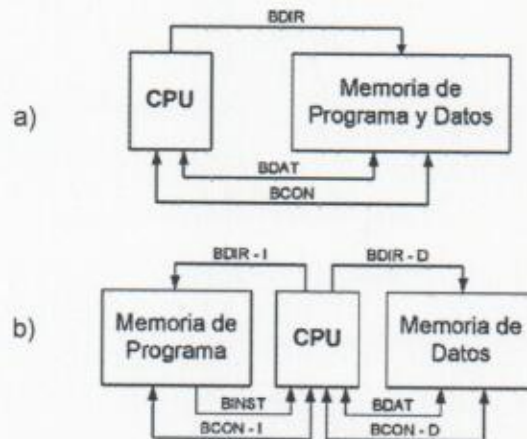


Figura 2.4 Arquitectura de Von Neumann (a) y Arquitectura de Harvard (b).

El juego o repertorio de instrucciones de un procesador digital es el conjunto de operaciones de transferencia, aritméticas, lógicas y de instrucciones de control (saltos condicionales e incondicionales, saltos a subrutina, etc.) que es capaz de interpretar y ejecutar su unidad de control.

Según Mandado (2007) de acuerdo con el juego de instrucciones los procesadores digitales se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Procesadores de juego de instrucciones reducido o RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Poseen un número reducido de instrucciones distintas y un número elevado de registros de aplicación general.
- Procesadores de juego de instrucciones complejo o CISC (*Complex Instruction Set Computer*). Poseen un número elevado de instrucciones distintas y un potente juego de modos de direccionamiento, o formas de seleccionar los operandos y las instrucciones.

En los esquemas de bloques de las arquitecturas de Harvard y de Von Neumann se observa la existencia de un bus de datos y uno de direcciones. A través del bus de datos el procesador debe enviar y recibir los resultados del exterior. Los sistemas externos que reciben y/o proporcionan datos, son los denominados periféricos y son en general sistemas digitales que se caracterizan por realizar una o varias de las siguientes funciones:

- Almacenar y, en ocasiones, visualizar la información en un formato diferente al que utiliza el procesador. Por ejemplo, una pantalla LCD representa caracteres mediante una matriz 2x16 en lugar del código ASCII.

- Llevar a cabo un determinado proceso para descargar a la UCP de esa tarea. El contador es el ejemplo de esta función.
- Ejecutar tareas de entrada/salida de información. Los puertos serie y paralelo serían en este caso el ejemplo a presentar.
- Controlar los tiempos en los que se producen las transferencias de la información. Las interrupciones pueden realizar esta función.
- Funciones especiales. Por ejemplo las que realiza el perro guardián (Watch-Dog).

De estas funciones se desprende que debe existir un circuito que acople el periférico al procesador. Dicho circuito recibe también el nombre de interfaz por su característica de tener dos caras, una mira hacia el procesador y otra al o los periféricos. En ambas arquitecturas las interfaces comparten los buses de datos y reciben el bus de direcciones mediante el cual el procesador elige el periférico con el que realiza la transferencia de información en cada instante.

Las diferentes aplicaciones en que pueden ser utilizados los microcontroladores son tantas que por ello los fabricantes presentan a estos bajo el concepto de familia que se define como un conjunto de microcontroladores que se caracterizan por poseer una misma arquitectura interna y un juego de instrucciones compatible y se diferencian en uno o más de los siguientes parámetros: Capacidad de operación en paralelo, Capacidad de memoria, los circuitos de interfaz de entrada/salida y los periféricos internos, el juego de instrucciones, la arquitectura externa y los modos de operación (Mandado, 2007).

2.3 PIC's

Los microcontroladores PIC (*Peripeheral Interface Controller*), son fabricados por la empresa MICROCHIP Technology INC. Esta empresa ocupa el primer lugar en ventas de microcontroladores de 8 bits desde el año 2002 (Reyes, 2006). Los microcontroladores PIC presentan arquitectura Harvard.

Microchip divide sus microcontroladores de ocho bits en cuatro grandes grupos denominados gamas: baja, media, alta y mejorada. Estas cuatro gamas se diferencian en el número de bits de sus instrucciones. La gama baja (Base Line) posee instrucciones de 12 bits, la gama media (Mid Range) de 14 bits y la gama alta (High End) y mejorada (Enhanced) de 16 bits. Cada una de las gamas se puede dividir a su vez en varios grupos de microcontroladores que poseen características comunes (similar número de puertos de entrada/salida, tamaño de memoria de datos y de programa, etc.) (Mandado, 2007).

2.3.1 Gama baja o básica: PIC16C5X con instrucciones de 12 bits

Se trata de una serie de PIC's de recursos limitados, pero con una de las mejores relaciones *coste/prestaciones*. Sus versiones están encapsuladas con 18 y 28 patitas y pueden alimentarse a partir de una tensión de 2,5 V lo que les hace ideales en las aplicaciones que funcionan con pilas. Tienen un repertorio de 33 instrucciones cuyo formato consta de 12 bits. No admiten ningún tipo de interrupción y la pila sólo dispone de dos niveles (Angulo, 2003).

2.3.2 Gama media: PIC16CXXX con instrucciones de 14 bits

Es la gama más variada y completa de los PIC. Abarca modelos con encapsulado desde 18 hasta 68 terminales, cubriendo varias opciones que integran

abundantes periféricos internos como por ejemplo comparadores, convertidores analógico/digitales, puertos serie y diversos temporizadores. El set de instrucciones es de 35 a 14 bits cada una y compatible con el de la gama baja. Sus distintos modelos contienen todos los recursos que se precisan en las aplicaciones de los microcontroladores de 8 bits. También dispone de interrupciones y una memoria de Pila de 8 niveles que permite el anidamiento de subrutinas (Mandado, 2007).

La gama media puede clasificarse en las siguientes subfamilias:

- a) Gama media estándar (PIC16C55X)
- b) Gama media con comparador analógico (PIC16C62X/64X/66X)
- c) Gama media con módulo de captura (CCP), modulación de anchura de impulsos (PWM) y puerta serie (PIC16C6X)
- d) Gama media con CAD de 8 bits (PIC16C7X)
- e) Gama media con CAD de precisión (PIC14000)
- f) Gama media con memoria Flash y EEPROM (PIC16F87X y PIC16X8X)
- h) Gama media con driver LCD (PIC16C92X).

2.3.4 Gama alta: PIC17CXXX con instrucciones de 16 bits

Se alcanzan las 58 instrucciones de 16 bits en el repertorio y sus modelos disponen de un sistema de gestión de interrupciones vectorizadas muy potente. También incluyen variados controladores de periféricos, puertas de comunicación serie y paralelo con elementos externos y un multiplicador hardware de gran velocidad.

Quizás la característica más destacable de los componentes de esta gama es su *arquitectura abierta*, que consiste en la posibilidad de ampliación del

microcontrolador con elementos externos. Para este fin, las patitas sacan al exterior las líneas de los buses de datos y direcciones.

2.4 EI PIC 16F877A

El microcontrolador PIC 16F877A de la compañía Microchip posee varias características que hacen de éste, un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico para ser aplicado en proyectos de grandes proporciones inclusive. Dentro de sus características fundamentales, se tiene en cuenta que es un microcontrolador con 5 puertos de entrada/salida, que soporta un modo de comunicación serial, razón por la cual dispone de dos pines para su funcionamiento (Gallego, 2007). También mayor cantidad de memoria para datos y programa, respecto a las familias anteriores de microcontroladores, y cuenta con memoria flash que se puede borrar eléctricamente y un set de instrucciones reducido tipo RISC.

La Tabla 2.1 muestra en resumen de las funciones disponibles en el PIC 16F877A.

Tabla 2.1 Principales características del PIC 16F877.

CARACATERÍSTICAS	16F877
Frecuencia Máxima	DC-20MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8KB
Posiciones RAM de datos	368
Posiciones EEPROM de datos	256
Puertos E/S	A,B,C,D,E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones Serie	MSSP,USART
Comunicaciones Paralelo	PSP
Líneas de entrada de A/D de 10 bits	8
Juego de instrucciones	35 Instrucciones

En la Figura 2.5 observamos la distribución de pines en un circuito integrado tipo DIP del PIC 16F877A en el cual se puede identificar la distribución de los 5 puertos, los pines de las señales de control y demás periféricos contenidos en el integrado.

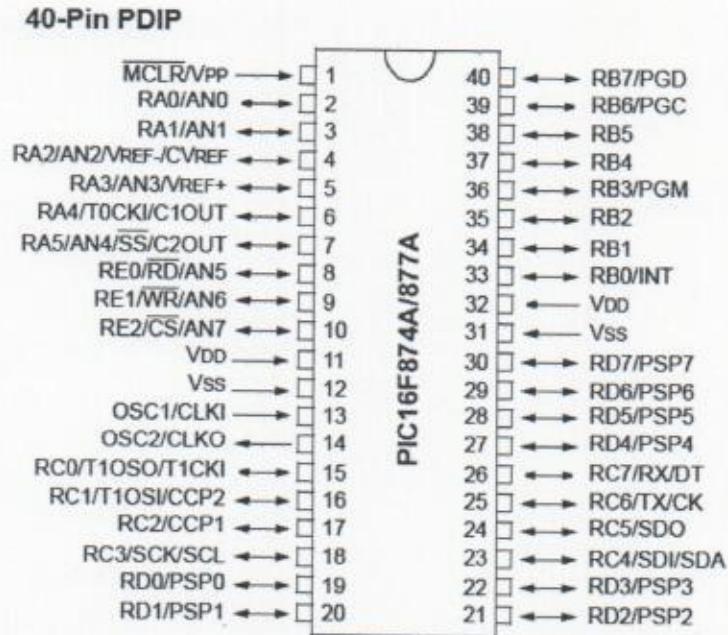


Figura 2.5 Diagrama de Pines del PIC 16F877A.

El diagrama de bloques mostrado en el Anexo A, muestra la distribución interna del PIC 16F877A.

Capítulo 3

3.1 Descripción del Sistema Propuesto

Desde el punto de vista de la teoría de control, un sistema o proceso está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí para alcanzar una determinada finalidad, y ofrece señales de salida en función de señales o datos de entrada. El conocimiento del comportamiento de la señal de salida respecto a una variación. En otras palabras, se denomina sistema de control aquel sistema constituido por un conjunto de elementos conectados de forma que permiten regular o gobernar otro sistema denominado planta o proceso (Raya, 2004).

Para el caso del sistema propuesto, se describe de acuerdo al esquema de la Figura 3.1, se observa que se trata de un sistema de lazo cerrado ya que iniciando el análisis a partir de las medidas que los sensores toman del microclima del invernadero, estas medidas deben ser acondicionadas y transmitidas al módulo de control, el cual evalúa y gobierna las acciones de todos los participantes en el sistema. Posteriormente se observa que el módulo de control

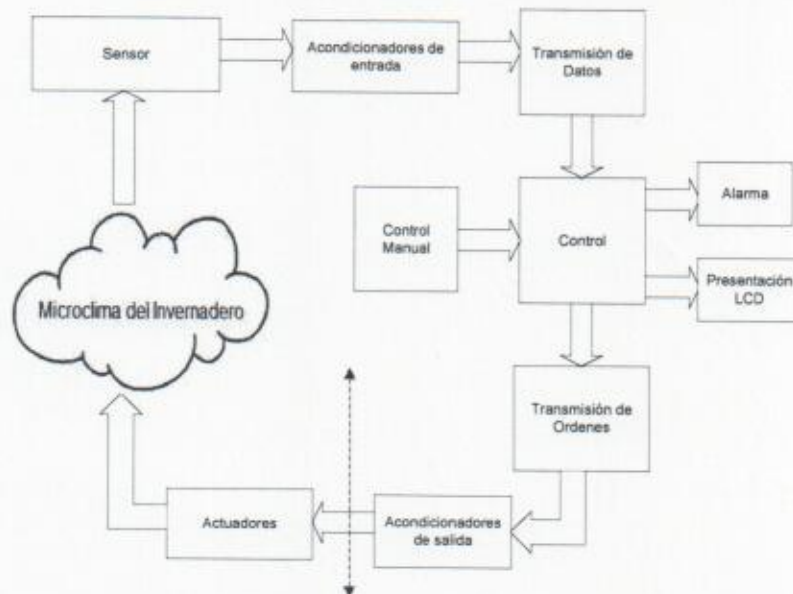


Figura 3.1 Esquema del Sistema Propuesto.

tiene salida a una alarma acústica, así como, una salida para la presentación de información del comportamiento del sistema por medio de una pantalla LCD y que mantiene comunicación con un sistema de control manual para manipular parámetros de máximos y mínimos de operación. En base a la información de las entradas y al procesamiento de esta información el módulo de control transmite las ordenes a la fase de acondicionamiento de salida para que los actuadores modifiquen (en caso de ser necesario) las condiciones del microclima del invernadero. Vale la pena mencionar que para el presente trabajo no se contemplo el diseño e implementación de los actuadores, ya que no se conto con los recursos para construir el invernadero de experimentación ni los subsistemas a controlar.

La Figura 3.2 muestra el diagrama de componentes del sistema. Como se puede observar, la etapa de entrada está compuesta por el conjunto de sensores, estos permiten informar al sistema las medidas obtenidas por ellos. Como se puede observar para el acondicionamiento de las señales de los sensores de viento en el exterior y humedad en el suelo es necesario un módulo adicional de acondicionamiento.

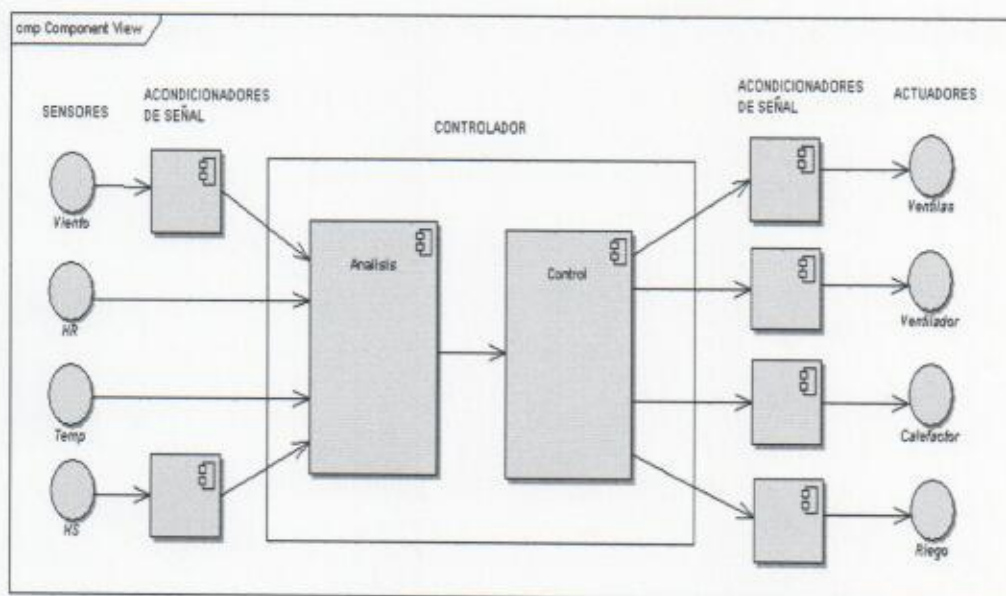


Figura 3.2 Diagrama de componentes del Sistema Propuesto.

Las otras señales no requieren este módulo de acondicionamiento debido a que estas provienen de *ASIC's (application-specific integrated circuit)* circuitos integrados para aplicaciones específicas (Morris, 2002), lo que permite la transmisión de las señales directamente al microcontrolador.

Al llegar al controlador que es la etapa medular de la solución, las señales ya acondicionadas son procesadas por medio del programa grabado en memoria del microcontrolador y analiza la combinación de las señales de entrada presentes y toma la decisión de acuerdo a la tabla funcional con la que fue diseñada la solución, para presentar a la etapa de salida la combinación que deben observar las interfaces de los cuatro actuadores.

La fase de salida consta únicamente de las interfaces para los actuadores ya descritos. Para referencia de los actuadores se consideraron las características reportadas por los fabricantes.

El sistema de control propuesto se separa en cuatro bloques:

- Sensores
- Acondicionadores de señal
- Controlador
- Actuadores

Sensores. Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se toma la medida, ofrece una señal de salida que es función de la variable medida (Pallás, 2007b).

Para el presente trabajo se diseñaron cuatro sensores: Sensor de Viento en el exterior, Sensor de Humedad Relativa, Sensor de Temperatura y Sensor de Humedad en el Suelo. Estos sensores tomarán las medidas de las correspondientes variables: Viento en el exterior del invernadero, Humedad en el suelo de cultivo, Humedad Relativa y Temperatura en el invernadero. Dichas

variables fueron identificadas en los antecedentes teóricos en la rama de Fitotecnia como las fundamentales a controlar para el apropiado desarrollo del cultivo en todas sus etapas (Sánchez, 2001) (García, 1994).

Acondicionadores de señal. En un sistema electrónico de medida clásico, la conexión entre sensor y microcontrolador se realiza mediante un circuito de acondicionamiento de señal y un convertidor analógico-digital. El microcontrolador (μC) se encarga de almacenar, procesar y/o transmitir la información del sensor una vez digitalizada. Sin embargo, los microcontroladores actuales integran un número de periféricos (digitales, analógicos y mixtos) que pueden simplificar la conexión entre sensor y microcontrolador, es decir, este último puede realizar también las funciones de acondicionamiento y digitalización. Los periféricos digitales (tales como temporizadores y contadores), que suelen ser habituales en la mayoría de microcontroladores actuales, pueden ser suficientes para una conexión directa sensor- μC (Reverter, 2008).

En la etapa de entrada y para los sensores de Viento y Humedad en el Suelo se requirió del diseño de un circuito de acondicionamiento de la señal medida. Para los sensores de Humedad Relativa y Temperatura no fue necesario el acondicionamiento ya que el ASIC utilizado entrega sus correspondientes señales ya acondicionadas para transmitir las directamente al microcontrolador. En la etapa de salida se diseñó la interfaz en base a la circuitería establecida para el control por medio de relevadores que controlan el accionar de los actuadores.

Controlador. Proporciona la excitación al proceso para alcanzar la salida deseada. Es diseñado para controlar el comportamiento global del proceso (Raya, 2004). En este sistema el control consiste fundamentalmente del microcontrolador PIC 16F877A. En este circuito integrado se realizan las fases de análisis y control por medio del programa residente en memoria, el cual analiza la combinación presente en los puertos definidos como entrada y decide que combinación debe presentarse en sus puertos de salida.

Actuadores. Un actuador es el elemento final de control, la parte del proceso que provoca físicamente la dinámica de todo sistema. Habitualmente consta de un adaptador de potencia y del elemento de actuación. La adaptación de potencia a la salida es necesaria porque por lo general la señal de salida del controlador suele ser de baja potencia y, por tanto, insuficiente para alimentar directamente al actuador (Raya, 2004). Los actuadores son entonces transductores de salida.

Para el presente trabajo se definió únicamente el diseño de las interfaces para los siguientes actuadores, los cuales se describen para la fase de implementación del sistema:

- Actuador de Ventilación. Controlará la apertura y Cierre de Ventilación ("cortineros") laterales por medio de motoreductores.
- Actuador del ventilador. Controlará un ventilador (en base a motor eléctrico) para la Aireación mecánica del invernadero.
- Actuador del Calefactor. Controla el calefactor en base a cañón de gas con su sistema de encendido por medio de chispa eléctrica y apertura de paso de gas.
- Actuador de Riego. Controla el Riego que se contempla mediante el control de operación de una bomba de 1 hp de potencia que surte de agua al sistema de riego de precisión por goteo.

Posterior a la implementación del prototipo y/o en base a la experiencia de la aplicación del sistema en un entorno real es posible la incorporación de nuevos elementos que permitan un control más adecuado del microclima del invernadero. Sin embargo, tomando en cuenta la investigación realizada, se considera que estos elementos pueden ser suficientes para cumplir con nuestros objetivos.

3.2 Descripción del circuito implementado

En el Anexo B, se muestra el diagrama del circuito del módulo de control del sistema propuesto donde incluyen todos los componentes utilizados. Se observa que el elemento central es el PIC 16F877A, en el cual se identifican los pines de entrada y salida correspondientes. Según el diseño de la solución, las señales que indican la condición de la Humedad Relativa y Viento llegan a las terminales 2 y 4 del microcontrolador respectivamente, mientras que los pines 15 y 16 se reciben las señales de los sensores de temperatura y humedad en el suelo, más adelante se describen estas señales apropiadamente.

El puerto B se utilizó para la operación de la pantalla LCD JHD162A que ofrece visualización por medio de una matriz 16x2 para desplegar la información. Los pines 23 y 24 del puerto C proporcionan las señales para operar los actuadores de Riego y Calefacción correspondientemente. Por otro lado, los pines 21 y 22 del puerto D controlan las salidas para los actuadores de apertura y cierre de las Ventiladas y el Ventilador respectivamente. Estas señales pasan por la etapa previa de acondicionamiento básica para el control de motores por medio de relevadores. En este trabajo los cuatro actuadores utilizan relevadores RAS-0510 de 1 polo, dos tiros (SPDT) y bobina de 5 VCC. Este relevador puede ser activado a través de señales TTL (5v) y a la salida puede soportar señales de:

- 120 VCA a 10 amperes
- 250 VCA a 7 amperes
- 24 VCD a 10 amperes

En base a estas características se considera que este tipo de relevadores pueden ser aplicados para controlar cualquier motor. Como protección del relevador se coloca paralelamente a la bobina un diodo 1N4007 para evitar que cargas inductivas puedan dañar el transistor por picos de tensión. En la terminal 25 sale la señal que activa el *zumbador* de alarma que indica el momento en que una variable se encuentre en un rango no permitido.

En el puerto D se utilizaron 3 pines 28, 29 y 30 para la salida a los interruptores de presión que controlan los botones Min, Max y Set utilizados para acceder a los menús que definen los valores mínimo, máximo y setup correspondientemente del control manual. Adicionalmente permite el control del reset por medio del pin 1 (MCLR1).

Las señales provenientes de los cuatro sensores se reciben en las terminales Viento, HS, HR y TEMP ya previamente acondicionadas y de ahí directamente a los pines correspondientes ya descritos anteriormente.

3.2.1 Descripción de los circuitos de los sensores

Viento en el exterior. Se implementó un arreglo en base a optoacopladores ECG3100 el cual polariza al circuito del transistor de emisor común y hace cambiar el estado de cero a uno y nos permite obtener pulsos necesarios para conectarlo al PIC en el pin 6 puerto A y el cual corresponde al puerto T0CK1 (Timer 0, entrada de reloj externo) aprovechando esta función se puede contar los pulsos presentes y por medio del programa obtener la velocidad de viento, dato que se visualizará en la pantalla LCD.

Humedad en el Suelo. Se realizó en base a la característica de resistividad presente en el suelo y la cual obtenemos por medio de las terminales del sensor, se sabe que la resistividad en el aire o en suelo completamente seco es infinita, al humedecer el suelo, esto es al empezarse a saturar de agua el medio físico, este disminuye su resistencia y se genera una variación de voltaje con el cual pone a oscilar al LM555N. Como se puede revisar en el Anexo C, las puntas del sensor crean una línea que conduce entre los pines 7 y 6 que está conectada al pin de disparo. El LM555N es configurado como multivibrador astable para a partir de esto una vez que se genera el tren de pulsos determinado por la entrada presente, dichos pulsos será la señal de entrada en el pin 16 del PIC (puerto C

TCOS1/CCP2) con el cual contará el tren de pulsos y con este dato el programa calculará el porcentaje de humedad presente en el suelo. La velocidad de oscilación del tren de pulsos será interpretada y este dará el grado de humedad presente en el suelo, esto es mientras más húmedo, más rápido será la oscilación a la salida.

Sensor de Temperatura. Este sensor es directamente el ASIC DS18B20 el cual es un termómetro digital "1-wire", que provee medidas de 9 a 12 bits de grados de temperatura, además una función de alarma no volátil con los puntos gatillo programables por el usuario superiores e inferiores. El DS18B20 comunica sobre un bus 1-Wire, que por definición requiere una sola línea de datos para la comunicación con un microprocesador central en este caso nuestro PIC. Tiene un rango de temperatura de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$ y tiene una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ en el rango de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$. Además, el DS18B20 puede derivar la energía directamente desde la línea de datos ("power o modo parásito"), eliminando la necesidad de una fuente de alimentación externa. La salida es una señal digital la cual es recibida por el PIC en el pin 15 (puerto C0/T10S0/T1CK1) directamente.

Sensor de Humedad Relativa. Para este sensor se utilizó también un ASIC en este caso el módulo HMZ-433A1 que contiene un sensor de humedad relativa y circuito integrado para ofrecer un voltaje lineal de CC para 0-100% de Humedad Relativa esto permite aplicaciones de usuario en dispositivos y controladores. El HMZ-433A1 es un módulo con 4 pines 2317RJ-04 (pitch = 2,5 mm) de terminales de conectores de salida de voltaje para Humedad y temperatura de salida de $50\text{K}\Omega$ (a 25°C). Este dispositivo discreto ofrece una respuesta lineal en función de la Humedad Relativa del aire, de tal forma que midiendo el voltaje podemos saber la Humedad Relativa. La salida es conectada al pin 2 del PIC (puerto A0) y por medio del programa que utiliza los datos para la calibración del fabricante expresa la lectura de Humedad Relativa en el aire la cual se despliega en la pantalla LCD.

3.3 Descripción del programa residente en memoria

Una vez definidos los requerimientos y diseñado el hardware se procedió al desarrollo del programa residente en la memoria del PIC que gobierna el sistema de control y se encargara por lo tanto de procesar la información para obtener como resultado el estado de cada uno de los actuadores conforme a la Tabla Funcional construida en base a las especificaciones recabadas con el usuario y la cual se puede consultar completa en el Anexo D.

El programa fue desarrollado en PicBasic que es un lenguaje de programación de alto nivel que hace más fácil y rápido la programación de microcontroladores PIC de Microchip Technology (microEngineering, 2009). Se utilizó el editor de textos MicroCode Studio Plus Mecanique V.3.0.0.5 para generar el archivo fuente .BAS, así como el compilador PicBasic Pro (PBP) V.2.50a para obtener el archivo de código fuente ensamblado .ASM y el archivo de código microPIC .HEX que es el que se transfirió al PIC por medio del software para programación de PIC's WinPic800 de Sisco Benach Font V.3.55g. El lenguaje PicBasic y el compilador PicBasic Pro han sido desarrollados por MicroEngineering Labs Inc. para programar una variedad de microcontroladores PIC de Microchip Technology que tengan de 8 a 68 pines. El esquema general está descrito en la Figura 3.3 que muestra la arquitectura del programa residente.

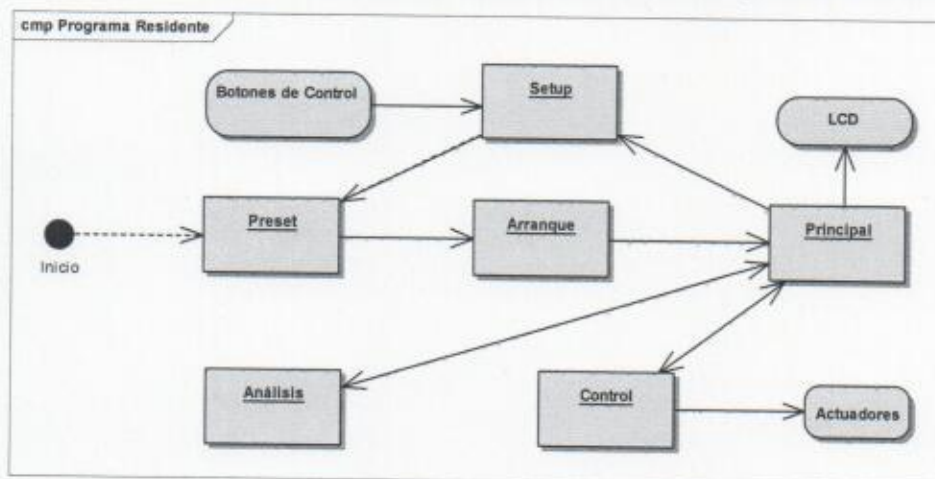


Figura 3.3 Arquitectura del Programa Residente.

Descripción general de cada una de las etapas de la arquitectura propuesta:

- **Inicio:** Se declaran las variables a utilizar en el programa, las cuales se encuentran contenidas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Variables para la programación.

Variable	Tipo	Descripción
menusetup	VAR BYTE	' variable de menú setup
tempmin	VAR BYTE	' variable de temperatura mínima
tempmax	VAR BYTE	' variable de temperatura máxima
temp	VAR WORD	' variable de temperatura
tempint	VAR BYTE	' variable valor temperatura enteros
tempmn	VAR BYTE	' variable temp. min registrada
tempmx	VAR BYTE	' variable temp. max registrada
hrmin	VAR BYTE	' variable de humedad relativa mínima
hrmax	VAR BYTE	' variable de humedad relativa máxima
hsmin	VAR BYTE	' variable de humedad suelo mínima
hsmax	VAR BYTE	' variable de humedad suelo máxima
vmax	VAR BYTE	' variable velocidad del viento máxima
cntvnt	VAR BYTE	' variable para contador de anemómetro
hr	VAR WORD	' variable humedad relativa
hs	VAR WORD	' variable humedad suelo
x	VAR BYTE	' variable para loops
command	VAR BYTE	' Storage for command
i	VAR BYTE	' Storage for loop counter
DQ	VAR PORTC.0	' Alias DS1820 data pin
DQ_DIR	VAR TRISC.0	' Alias DS1820 data direction pin
DACHR	VAR BYTE	' RESULTADO DE LA CONVERSIÓN
DACHS	VAR BYTE	' RESULTADO DE LA CONVERSIÓN
RES3	VAR BYTE	' RESULTADO DE LA CONVERSIÓN
talta	VAR BIT	' 1 si temperatura alta
tbaja	VAR BIT	' 1 si temperatura baja
halta	VAR BIT	' 1 si hr alta
hbaja	VAR BIT	' 1 si hr baja
salto	VAR BIT	' 1 si humedad suelo alta
sbajo	VAR BIT	' 1 si humedad suelo baja
valto	VAR BIT	1 si viento fuerte
vcontrol	VAR BYTE	' variable de evaluación de control
vk	VAR WORD	' variable para deposito valor del viento
viento	VAR BYTE	' variable para deposito valor del viento km/hr
valtb	VAR BYTE	' variable temp. Baja Dec
valta	VAR BYTE	' variable temp. Alta Dec
valhb	VAR BYTE	' variable HR. Baja Dec
valha	VAR BYTE	' variable HR. Alta Dec
valsb	VAR BYTE	' variable HSuelo. Bajo Dec
valsa	VAR BYTE	' variable HSuelo. Alto Dec
valvb	VAR BYTE	' variable Viento Bajo Dec

Así mismo se declaran los alias para los pines de salida, los cuales se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Alias de los Pines utilizados.

Alias	Pin	Descripción
relecor	VAR portD.2	' relay Ventilador
releven	VAR portD.3	' relay Calentador
relerie	VAR portc.4	' relay Cortinas
relecal	VAR portc.5	' relay Riego
led	VAR portD.4	' led indicador de inicio
pbsetup	VAR portd.5	' boton setup
pbmin	VAR portd.6	' boton ajuste mínimos
pbmax	VAR portd.7	' boton ajuste máximos

- **Preset:** Se definen los canales a utilizar así mismo se definen estos como analógicos o digitales, también se inicializa con "cero" el valor de las variables para lograr que el sistema no inicie con valores previos y por último se fija en LOW el estado de las cuatro salidas a los actuadores para evitar también valores de estados previos.
- **Arranque:** Limpia pantalla LCD, y lee las posiciones de la 0 a la 6 en la eeprom para asignar correspondientemente a las variables *tempmin*, *tempmax*, *hrmin*, *hrmax*, *hsmin*, *hsmax* y *vmax*.
- **Principal:** Lee el valor de la temperatura del DS1820 el cual se deposita en la variable *temp*, se divide este valor para obtener resultados en grados centígrados, según especificación del fabricante (expresión 3.1), y al final lo convierte a enteros depositándolo en la variable *tempint* para con este valor poder realizar las evaluaciones (expresión 3.2).

$$temp = temp*/1600 \quad (3.1)$$

$$tempint=temp/100 \quad (3.2)$$

Mediante la expresión (3.3) cuenta los pulsos en el puerto A.4 y deposita este valor en la variable *cntvnt*, y utilizando los valores del diámetro de la tapa base y número de perforaciones se obtiene el valor de la velocidad del viento con la expresión (3.4), lo cual se deposita en la variable *viento* que contendrá la velocidad del viento expresada en km/h esto mediante la expresión (3.5):

$$\text{count porta.4,500, cntvnt} \quad (3.3)$$

$$vkh=(cntvnt*12*13)/600 \quad (3.4)$$

$$viento==vkh*3 \quad (3.5)$$

En (3.6) cuenta los pulsos en el puerto C.1 por 175ms y los deposita en la variable *hs* para ajustarlo a 100 para la máxima conductividad:

$$\text{count portc.1,175,hs} \quad (3.6)$$

Para la humedad relativa, con (3.7) lee el valor del DAC lo multiplica por 200 y lo divide entre 340, siendo este el algoritmo que da lectura aproximada de la HR depositada en la variable *hr* estos valores son datos de calibración del HMZ-433A1:

$$hr=(DACHR*200)/340 \quad (3.7)$$

Con estos valores va la rutina de análisis, los evalúa y regresa. El valor de salida de la evaluación de la rutina de análisis lo manda a la rutina de control y fija los estados de las cuatro salidas definidas en el sistema. Y finalmente despliega por medio de la pantalla LCD toda la información procesada de las variables interesadas.

- **Análisis:** Evalúa cada una de las variables *tempint*, *hr*, *hs* y *viento* y asigna o forma una secuencia binaria de 7 elementos que lo conforman como indica

la Tabla Funcional mostrada en el Anexo D, de esta evaluación resulta la asignación del valor decimal que corresponda de acuerdo a la posición en el binario. Las variables que se consideran para el proceso de formación del binario son: *tbaja, talta, hbaja, halta, sbajo, salto* y *valto*, y para la asignación del valor decimal correspondiente se utilizaron las variables *valtb, valta, valhb, valha, valsb, valsa* y *valto*, la sumatoria de estos valores decimales se depositan en la variable *vcontrol* y retorna a la rutina Principal.

- **Control:** Evalúa el valor de la variable de control de salida de la rutina Análisis (*vcontrol*) y define con este el estado de las salidas del sistema, esto es, indica el estado de los cuatro actuadores por medio de las variables: *relecor, releven, relerie* y *relecal*. Si de la evaluación una sola de las variables de entrada esta fuera de rango, manda la orden para activar la alarma sonora por medio del *buzzer* localizado en el puerto C.6.
- **Setup:** En esta rutina se configura el acceso para fijar los valores mínimo y máximo de las cuatro variables de entrada del sistema, esto por medio del control de los valores de las variables para los botones de control definidos: *pbsetup, pbmin* y *pbmax*.

3.4 Implementación del Prototipo

- **Sensores**

Se inicio con el diseño, prueba, implementación y calibración individual de cada uno de los cuatro sensores.

- **Sensor de temperatura:** Como se muestra en la Figura 3.4 y como ya se menciono, se utilizó el ASIC DS18B20 que es un termómetro digital *1-Wire*, entonces lo único que se realizó fue conectarlo a una extensión por medio de cable UTP con conexión a las tres líneas necesarias que son: *GND*, *VDD* y *DQ*, donde la señal *DQ* es la señal de datos entrada/salida, y es la que nos proporciona el valor de la temperatura en formato digital.



Figura 3.4 Sensor de Temperatura.

- **Sensor de Humedad Relativa:** En este sensor también se utilizó un ASIC, el módulo HMZ-433A1 que consiste en un sensor HCZ y el circuito integrado para proveer un voltaje DC lineal para medidas de Humedad Relativa de 0-100% HR, en la Figura 3.5 podemos verificar que también únicamente se interconecta por medio de una extensión por medio de cable UTP conectando únicamente los pines 1,2 y 3 que corresponden a las señales: voltaje de 5V DC, Humedad Relativa y GND respectivamente.

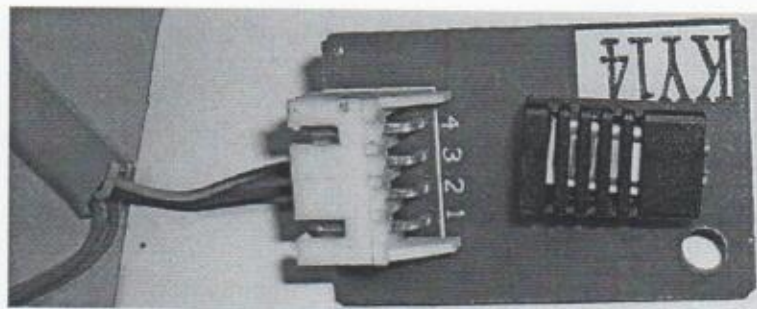


Figura 3.5 Sensor de Humedad Relativa.

- **Sensor de Humedad en el suelo:** Se implemento el circuito descrito por medio de la elaboración del circuito impreso utilizando técnica de serigrafía, se puede observar en la Figura 3.6 que la parte inferior de la placa contiene las terminales del sensor, las cuales son integradas por dos líneas de cobre forradas e interconectadas con el circuito para que la toma de la lectura sea ajustable, esto es, la profundidad a la que se puede colocar las terminales es de máximo 14.5cm, con esta profundidad máxima se garantiza que se podrá tomar medidas en las diferentes etapas de crecimiento del cultivo ya que la raíz de la planta no excede esa profundidad, dato proporcionado por el usuario, y con esto aseguraríamos que la toma de la medida sea a la profundidad que garantice que el nivel de saturación de agua cubrirá por completo a la raíz del las plantas.

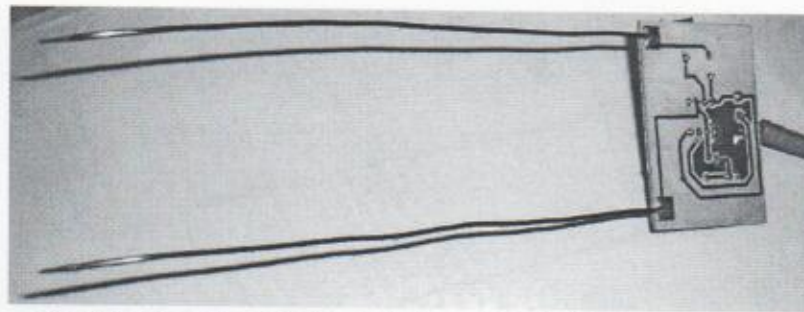


Figura 3.6 Sensor de Humedad en el Suelo (vista posterior).

Así mismo en la Figura 3.7 se observa que cuenta con extensión por medio de cable UTP con tres líneas las cuales son Voltaje, Tierra y salida Q del LM555N que contiene el tren de pulsos que serán utilizados a la entrada del PIC para ser procesados y obtener la medida de la Humedad en el Suelo para su colocación en la región deseada y LED indicador de operación.

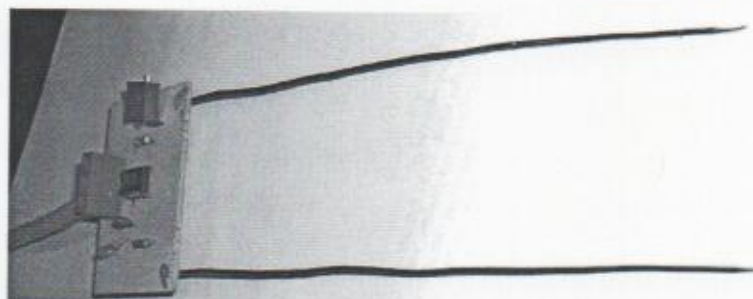


Figura 3.7 Sensor de Humedad en el Suelo (vista anterior).

En las Figura 3.8 y 3.9 se presentan dos tomas de medidas con este sensor desarrollado, en la primera se realiza la toma de medida a un suelo seco y se observa como la lectura indicada en la pantalla LCD indica "S0" lo cual se interpreta: humedad en el suelo cero.

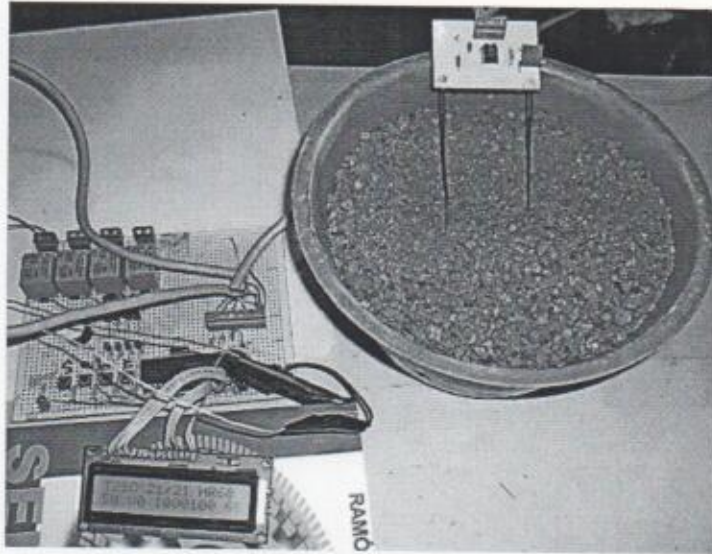


Figura 3.8 Toma de medida a un suelo seco.

En Figura 3.9 se muestra la toma de medida a un suelo húmedo, en este caso en la pantalla LCD se reporta "S61" que corresponde a humedad en el suelo de 61%.



Figura 3.9 Toma de medida a un suelo húmedo.

- **Sensor de velocidad del Viento en el exterior.** Para este sensor se utilizó un modelo en base al concepto de Savonius, este modelo se basa en una geometría óptima, el eje vertical del rotor Savonius fue patentado S.J. Savonius en 1929. Savonius utiliza un rotor, que se forma mediante la reducción de un cilindro en dos mitades a lo largo del plano central y luego pasar a dos superficies semi-cilíndricas de lado a lo largo del plano de corte, se observa que la sección transversal se parecía a la letra 'S' (Figura 3.10).

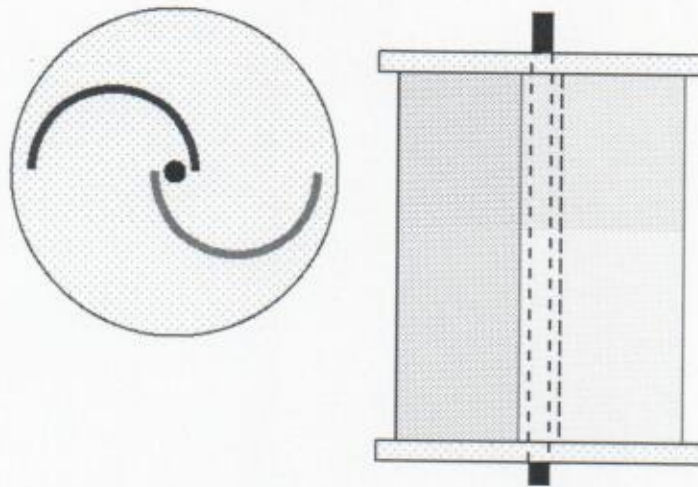


Figura 3.10 Rotor del Savonius.

Estos rotores tienen una característica en el rendimiento que los diferencia de los rotores eólicos de eje horizontal, es decir, su capacidad para funcionar independientemente de la dirección del viento. Esta característica es importante porque permite al rotor extraer la energía de un viento dado o una ráfaga instantánea independientemente de los cambios rápidos en la dirección del viento (Vance, 1973). Como se puede apreciar en la Figura 3.11 este diseño se implementó con dos mitades de PVC de 2'' colocadas según el principio a $\frac{3}{4}$ una de otra encontradas, las tapas superior e inferior se realizaron con lamina galvanizada y el eje rotor es un tornillo largo 0.10'' por 7'' de largo, al cual se le pego las mitades de PVC y las tapas, a su vez a las tapas se pego las mitades de PVC con pegamento de contacto fuerte

adicionándole bicarbonato de sodio para hacer cuerpo y rellenar las pequeñas separaciones para que presentará una superficie uniforme, después de armar el cuerpo del Savonius se empotro el eje sobre una placa de madera de 22.5cm por 8cm, en la parte inferior de la placa se realizo una ranura a una profundidad de 0.7cm en la base de esta ranura se coloco una pequeña placa de metal con doble función: para minimizar la fricción y el eje gire con la mayor libertad y para evitar el desgaste de la base por la rotación constante del eje, la parte superior del eje está colocada a través de una *portería* de madera de 17.6cm de altura por 18.8cm de ancho.

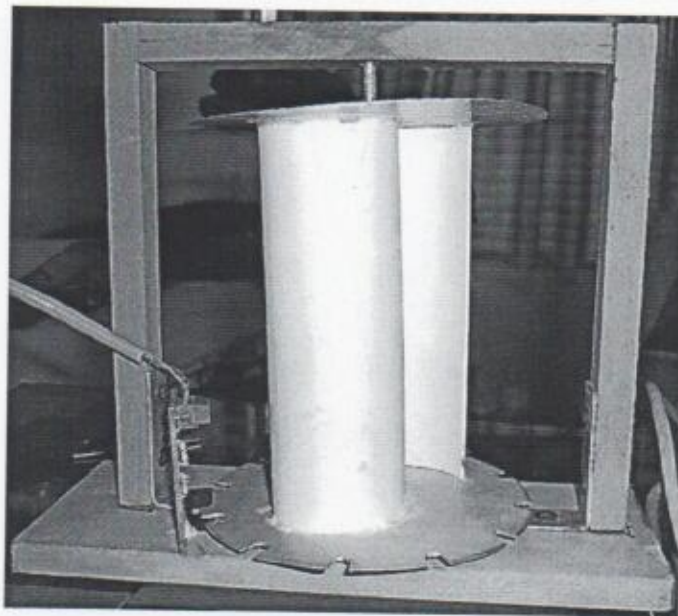


Figura 3.11 Anemómetro.

También podemos observar que la circuitería en base al optoacoplador ECG 3100 se monto en una pequeña placa de circuito impreso el cual se fijo sobre la base de madera a un altura de 0.7 cm para permitir el libre giro del disco inferior ranurado del Savonius el cual fue hecho de lamina galvanizada con un diámetro de 10 cm y las 13 ranuras tienen una profundidad aproximada de 0.5cm por 0.5cm de ancho, los datos del número de ranuras y el diámetro

del disco son los utilizados en la expresión (3.4), para calcular la velocidad del viento en m/s.

- **Tarjeta principal**

Una vez controlados e implementados los cuatro sensores, se realizó la integración de estos para que con el programa residente en la memoria del PIC pudiera operar el sistema de control. En la Figura 3.12 se puede observar la mencionada integración en la tarjeta principal del sistema la cual cuenta con terminales para recibir las entradas de señal provenientes de los sensores, así mismo, enviarles a estos las señales de voltaje y referencia necesarias. También se puede observar que se cuenta con terminales para conexión de las líneas a los actuadores y LEDS indicadores de operación de estos. También se puede identificar fácilmente la pantalla LCD conectada y por último la sección de los *push buttons* para configuración manual de los valores máximo y mínimo de las variables de entrada.

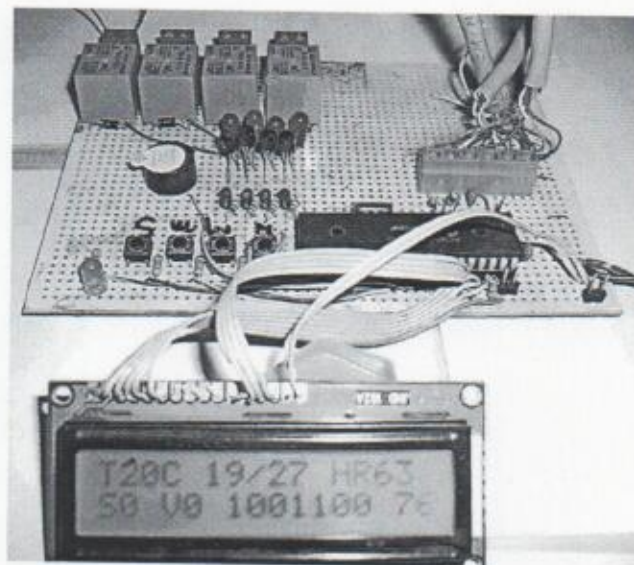


Figura 3.12 Tarjeta Principal.

- LCD

En la Figura 3.13 se muestra la pantalla LCD de matriz 16x2, en la cual se describe a continuación los elementos que se muestran en ella: en la línea superior, lado izquierdo se presenta fijo el carácter "T", inmediatamente después los dos dígitos siguientes corresponden al valor de la variable *tempint* que representará el valor de la temperatura expresada en números enteros, después el carácter "C" que es fijo, los siguientes dígitos corresponden a las variables *tempmn* y *tempmx* que desplegarán los valores mínimo y máximo de la temperatura fijados por medio de los botones de control manual, dichos valores están separados por el símbolo "/", a continuación los caracteres "HR", inmediatamente después los dígitos que representarán el valor de la variable *hr* y



Figura 3.13 Pantalla LCD del Sistema.

que representan el porcentaje de Humedad Relativa detectado por el sensor correspondiente. En la segunda línea tenemos primeramente el carácter "S" seguido de los dígitos que expresan el valor de la variable *hs* y que representa el porcentaje de humedad en el suelo que recabo el sensor correspondiente, continua el carácter fijo "V" seguido de dígitos que representan el valor de la variable *viento* que representa la velocidad del viento expresado en km/h, después de esto se observa una secuencia de 7 números binarios que representan de izquierda a derecha los valores correspondientes a las variables: *tbaja*, *talta*, *hbaja*, *halta*, *sbajo*, *salto* y *valto* que representan correspondientemente el estado binario de las variables Temperatura baja, Temperatura alta, Humedad Relativa

baja, Humedad Relativa alta, Humedad en el Suelo baja, Humedad en el Suelo alta y Viento alto, un "1" en la posición indicada significaría el estado "ON" de la variable descrita, por último tenemos los dígitos que simplemente expresan en decimal el número binario descrito antes.

En la Figura 3.11 se observan los datos reportados en la pantalla LCD, para el caso representado en pantalla se interpretan de la siguiente manera:

Linea1:

Temperatura en el invernadero:	20° C
Temperatura mínima registrada en el periodo:	19° C
Temperatura máxima registrada en el periodo:	27° C
Humedad Relativa en el invernadero:	64%

Linea2:

Humedad en el suelo del cultivo:	0%
Velocidad del viento en el exterior:	0 km/hr
Estado binario de las variables:	
Temperatura en el invernadero:	Baja
Humedad Relativa en el invernadero:	Alta
Humedad en el suelo del cultivo:	Bajo
Viento en el exterior:	Bajo
Valor decimal de la variable <i>vcontrol</i> :	76

- **Actuadores**

En la etapa final y como se puede verificar en la imagen de la Figura 3.14, se implementaron las interfaces para el control de los actuadores por medio de relevadores y su circuitería típica con protección, así como, LEDS indicadores de cada salida y terminales para conexión las cuales están preparadas para interconectar directamente los cuatro subsistemas a controlar identificados por las

letras K, R, V y C que respectivamente controlarán, cuando se lleve a cabo la fase de implementación del sistema: la electroválvula para la operación del cañón calefactor de gas, la operación de la bomba de riego de 1HP para el sistema de riego de precisión por goteo, del ventilador con motor de 1HP para la ventilación mecánica, y 2 motores de paso para la apertura y cierre de ventilas laterales (*cortineros*).

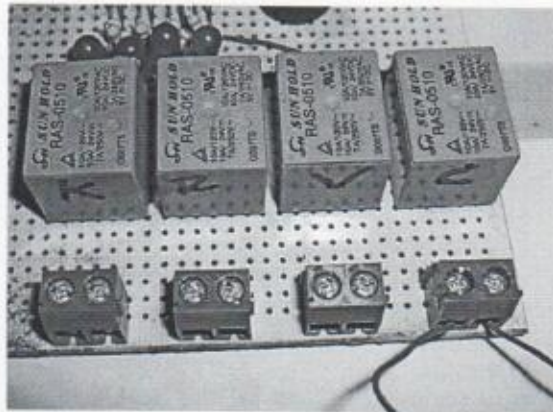


Figura 3.14 Etapa de salida a los Actuadores.

- **Botones de control**

Como se muestra en la Figura 3.15, se trata de 4 botones los cuales son R, M, m y S, los cuales tienen las siguientes funciones:

R: Resetea el sistema

M: Fija valores Máximos para los menús de las variables

m: Fija valores mínimos para los menús de las variables

S: Botón Setup para entrar al menú Setup

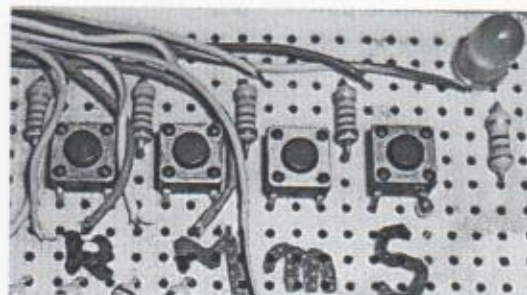


Figura 3.15 Botones de Control.

En la Figura 3.16 se presenta la integración final del sistema, se observan todos los elementos descritos y en funcionamiento. A continuación se identifican todos los componentes del Sistema desarrollado:

Esquina superior izquierda:	Sensor de viento (Anemómetro)
Esquina superior derecha:	Sensor de Humedad en el suelo
Esquina inferior izquierda:	Sensor de Temperatura y Sensor de Humedad Relativa
Región inferior al centro:	Pantalla LCD
Región central:	Tarjeta Principal

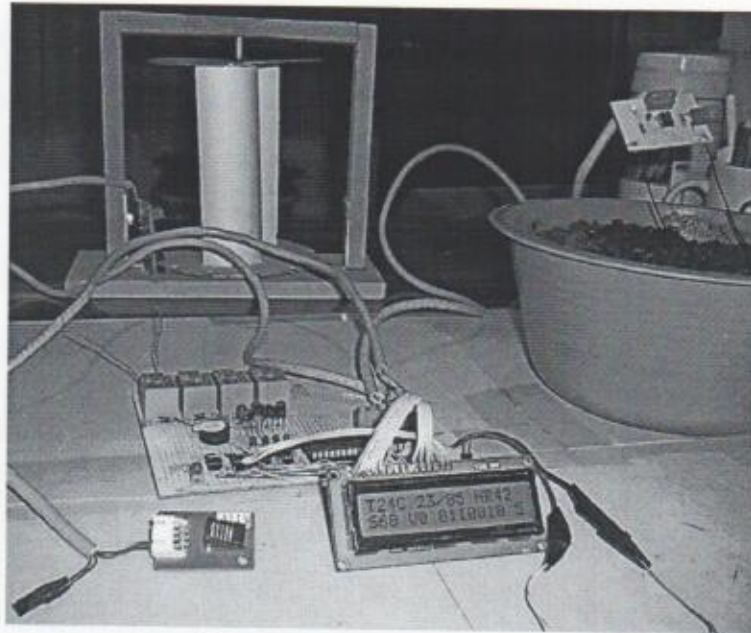


Figura 3.16 Sistema completo.

Para el caso que se presenta en la Figura 3.16, se describe la situación interpretando lo presentado en la pantalla LCD:

Línea 1:

Temperatura en el invernadero:

24° C

Temperatura mínima registrada en el periodo:	23° C
Temperatura máxima registrada en el periodo:	85° C
Humedad Relativa en el invernadero:	42%

Linea2:

Humedad en el suelo del cultivo:	68%
Velocidad del viento en el exterior:	0 km/hr
Estado binario de las variables:	
Temperatura en el invernadero:	Alta
Humedad Relativa en el invernadero:	Baja
Humedad en el suelo del cultivo:	Alta
Viento en el exterior:	Bajo
Valor decimal de la variable <i>vcontrol</i> :	50

Capítulo 4

4.1 Pruebas

Una vez puesto en operación el prototipo del sistema desarrollado fue sometido a diversas pruebas para comprobar su funcionalidad.

1. La primera prueba se realizará ejecutando en orden las combinaciones indicadas en la Tabla Funcional construida (Anexo D) y tiene como finalidad la de comprobar la totalidad de combinaciones posibles.
2. Para la segunda prueba se tomarán 5 registros de condiciones aleatorias sin que sean elegidas de la Tabla Funcional. La finalidad de esta prueba es la de agregar aleatoriedad al número de pruebas propuesto.
3. Y para la última prueba se tomarán nuevamente 5 registros de condiciones aleatorias sin ser elegidas de la Tabla Funcional agregando la situación de falla de energía del prototipo. Se pretende observar el comportamiento del prototipo bajo estas dos condiciones severas.

Descripción de las pruebas: Al analizar los procedimientos para realizar las pruebas se encontró que era muy difícil mantener como referencia los valores contenidos en la Tabla 4.1, ya que fue muy difícil tratar de manipular los sensores para forzar o alcanzar los valores de la mencionada Tabla, la cual contienen los valores determinados por la conjunción de las tablas existentes en materia de fitotecnia y ciencias agrícolas así como la participación directa del usuario que fue

quien determino los valores referidos y que son los que deben considerarse para la implementación y puesta en operación del sistema.

Tabla 4.1 Valores determinados de Referencia.

T = Temperatura	tempmin	5° C	tempmax	30° C
H = Humedad del suelo	hsmin	12%	hsmax	34%
R= Humedad relativa	hrmin	50%	hrmax	80%
V= Viento	vmax	39km/h		

Por lo anterior se determino proponer una tabla de valores para las pruebas, dicha Tabla la podemos verificar en la Tabla 4.2 la cual contiene valores considerados alcanzables con manipulación simple de las condiciones de los sensores en los rangos establecidos para que el sistema pudiera operar la totalidad de posibilidades establecidas en la Tabla Funcional.

Tabla 4.2 Valores determinados para Pruebas.

T = Temperatura	tempmin	23° C	tempmax	28° C
H = Humedad del suelo	hsmin	12%	hsmax	34%
R= Humedad relativa	hrmin	50%	hrmax	60%
V= Viento	vmax	15km/h		

➤ **Prueba Uno**

Partiendo de los valores de la Tabla de valores para pruebas, se inicio con la verificación de cada una de las combinaciones indicadas en la Tabla Funcional construida (ver Anexo D) esto es 54 combinaciones que significaron 54 pruebas.

Se inicia manipulando cada uno de los sensores hasta lograr los estados indicados por la Tabla de Funcionalidad construída en el orden que aparecen en la pantalla LCD, esto es: primeramente se manipula el sensor de temperatura, segundo el sensor de Humedad Relativa, tercero sensor de Humedad en el Suelo y por último el sensor de Viento. Registrando las lecturas verificadas por esta acción. Así mismo se registra el número binario y decimal de las entradas desplegado en la pantalla LCD.

Verificación y registro de cada una de las combinaciones resultantes, esto por medio de los LEDS indicadores de operación de las salidas a los actuadores.

El registro de las medidas de los sensores para las combinaciones de entrada y sus correspondientes combinaciones de salida observadas, serán utilizadas para construir la Tabla de Resultados de la Prueba Uno.

➤ **Prueba Dos**

Se tomaron 5 registros de condiciones aleatorias sin que sean elegidas de la Tabla Funcional, esto es, se manipulan aleatoriamente los sensores hasta tener una nueva condición, con estos datos se construye la Tabla de Resultados de la Prueba Dos.

➤ **Prueba Tres**

Se tomaron otros 5 registros de condiciones aleatorias sin ser elegidas de la Tabla Funcional, agregando la situación de falla de energía del prototipo para cada registro. Igualmente con estos datos se construye la Tabla de Resultados de la Prueba Tres.

4.2 Resultados

✓ De la Prueba Uno

De las 54 pruebas realizadas se obtuvieron las lecturas que permitieron construir la Tabla de Resultados de la Prueba Uno, la cual se presenta en el Anexo E, donde se puede revisar que la totalidad de combinaciones fueron confirmadas siguiendo el procedimiento marcado en la fase de pruebas, esto es, cada una de las combinaciones arrojó un resultado ajustado a la combinación de salida esperada, esto se puede verificar comparando esta Tabla de registro de la Prueba Uno con la Tabla Funcional (Anexo D).

De esta comparación se desprende que para este procedimiento se confirmaron las 54 pruebas ya que sí se obtuvieron los resultados esperados en todos los casos, esto es una efectividad del 100% de acuerdo a la Tabla Funcional.

✓ De la Prueba Dos

En las 5 pruebas realizadas en este apartado se obtuvieron las lecturas que permitieron construir la Tabla de Resultados de la Prueba Dos, la cual se presenta en el Anexo F, donde se puede revisar que la totalidad de combinaciones fueron confirmadas siguiendo el procedimiento marcado en la fase de pruebas, esto es, cada una de las combinaciones fue identificada en las combinaciones de entrada y arrojó un resultado ajustado a la combinación de salida correspondiente esperada, esto se puede verificar comparando esta Tabla con la Tabla Funcional contenida en el Anexo D.

De esta comparación se desprende que para este procedimiento se confirmo que las 5 pruebas se ajustaron a los resultados esperados, esto es una efectividad del 100% de acuerdo a la Tabla Funcional.

✓ **De la Prueba Tres**

En las 5 pruebas realizadas en este último apartado se obtuvieron las lecturas que permitieron construir la Tabla de Resultados de la Prueba Tres, la cual se presenta en el Anexo G, donde se puede revisar que la totalidad de combinaciones fueron confirmadas siguiendo el procedimiento marcado en la fase de pruebas, esto es, cada una de las combinaciones una vez identificada la combinación correspondiente se observó que los resultados se ajustaron a la combinación de salida esperada, esto se puede verificar comparando esta Tabla con la Tabla Funcional contenida en el Anexo D.

De esta comparación se desprende que para este procedimiento se confirmo que las 5 pruebas se ajustaron a los resultados esperados, esto es una efectividad del 100% de acuerdo a la Tabla Funcional. Cabe mencionar que al reiniciar el sistema por falta de energía, este despliego lecturas de sensores ajustadas a la realidad de su entorno, consecuentemente presento en la salida siempre la combinación correcta de acuerdo a las condiciones de entrada de los sensores, identificadas por medio de la cantidad binaria desplegada en la pantalla LCD.

Conclusiones

De la puesta en operación del prototipo y del resultado de las pruebas realizadas al mismo, se concluye que:

- El prototipo desarrollado permite la detección del estado de las variables ambientales: Temperatura, Humedad Relativa, Humedad en el Suelo y Viento en el exterior.
- La tabla funcional programada en el microcontrolador que fue desarrollada en base a los requerimientos establecidos en la teoría y considerando la experiencia de los productores, sí contiene todas las combinaciones posibles lo que consideramos permitirá que el funcionamiento del sistema sea adecuado.
- El sistema es capaz de detectar cualquier variable fuera de rango y actuar en consecuencia, esto es, toma una decisión y ordena una acción para cada uno de los cuatro actuadores, lo cual se observó mediante la activación de los relevadores y LEDS correspondientes, esto en la fase de implementación deberá ejecutar hasta lograr que las variables del microclima estén todas dentro de rango permitido, ya que sólo cuando todas las variables se encuentren dentro de rango, el sistema dejará de enviar la alarma acústica y ordenará a los actuadores la combinación ideal no perjudicial, esto es todos los actuadores en estado *LOW* y sólo el actuador de Apertura de Ventilación lo mantendrá en estado *ON*, este estado se mantendrá hasta que alguna variable se dispare, esto se logró demostrar ya que al tener disparada la alarma por cualquier combinación, se manipuló a los sensores para alcanzar la combinación ideal de entradas, teniendo

como respuesta también la combinación ideal de operación de las salidas a los actuadores y la correspondiente desactivación de la alarma.

- De las pruebas realizadas al prototipo observamos que en diferentes escenarios el sistema proporciona las salidas establecidas en la tabla funcional.

El funcionamiento observado del prototipo del sistema garantiza que este es capaz de mantener las variables propuestas en rango permitido de acuerdo a las especificaciones establecidas en la tabla de funcional construida, siendo con esto posible el control del microclima en el invernadero. Por lo que se cumple con los objetivos planteados al inicio del trabajo

Trabajos Futuros

- El siguiente paso, como recomendación para trabajos futuros, se requiere implementar el sistema en un invernadero real de mínimo 250m² y máximo 500m². Para realizar esta instalación será necesario las siguientes acciones: Ubicar el modulo central del sistema en una superficie fija y aislada para evitar contacto con líquidos y polvo, ubicar los sensores de Temperatura y Humedad Relativa al centro del invernadero a una altura media, ubicar el sensor de Humedad del Suelo a la mitad de una de las camas centrales del invernadero y por último, fijar en un claro fuera del invernadero el anemómetro construido. Para los actuadores: El subsistema de riego deberá ser de precisión por goteo con una bomba para surtir agua de no más de 1HP, para el subsistema de ventilación mecánica igualmente se recomienda un motor de no más de 1HP, sistema de calefacción por medio de electroválvula para controlar la apertura o cierre del depósito de gas y un control de encendido por medio de chispa eléctrica, por último para el subsistema de apertura y cierre de ventilas se podrá realizar por medio de motores paso a paso y sistema mecánico así como de un sistema de sensores de contacto para detectar el cierre y la apertura total de las ventilas y evitar con esto que los motores queden energizados todo el tiempo.
- La implementación del sistema deberá contemplar la elaboración en circuito impreso de todos los elementos electrónicos que participan, así como la apropiada protección de estos para evitar su deterioro en el corto tiempo.
- Se recomienda diseñar e integrar un control de red de sensores para los sensores de Temperatura, Humedad relativa y Humedad en el suelo, el cual comunique al modulo central el procesamiento de los promedios de las

medidas recolectadas de las variables correspondientes y poder utilizar así la misma Tabla funcional construida.

- Investigar la aplicación de técnicas de inteligencia artificial como lo es lógica difusa, para aumentar la distribución de situaciones que se pueden presentar al sistema y aumentar con esto la sensibilidad de este en tiempo real.

Bibliografía

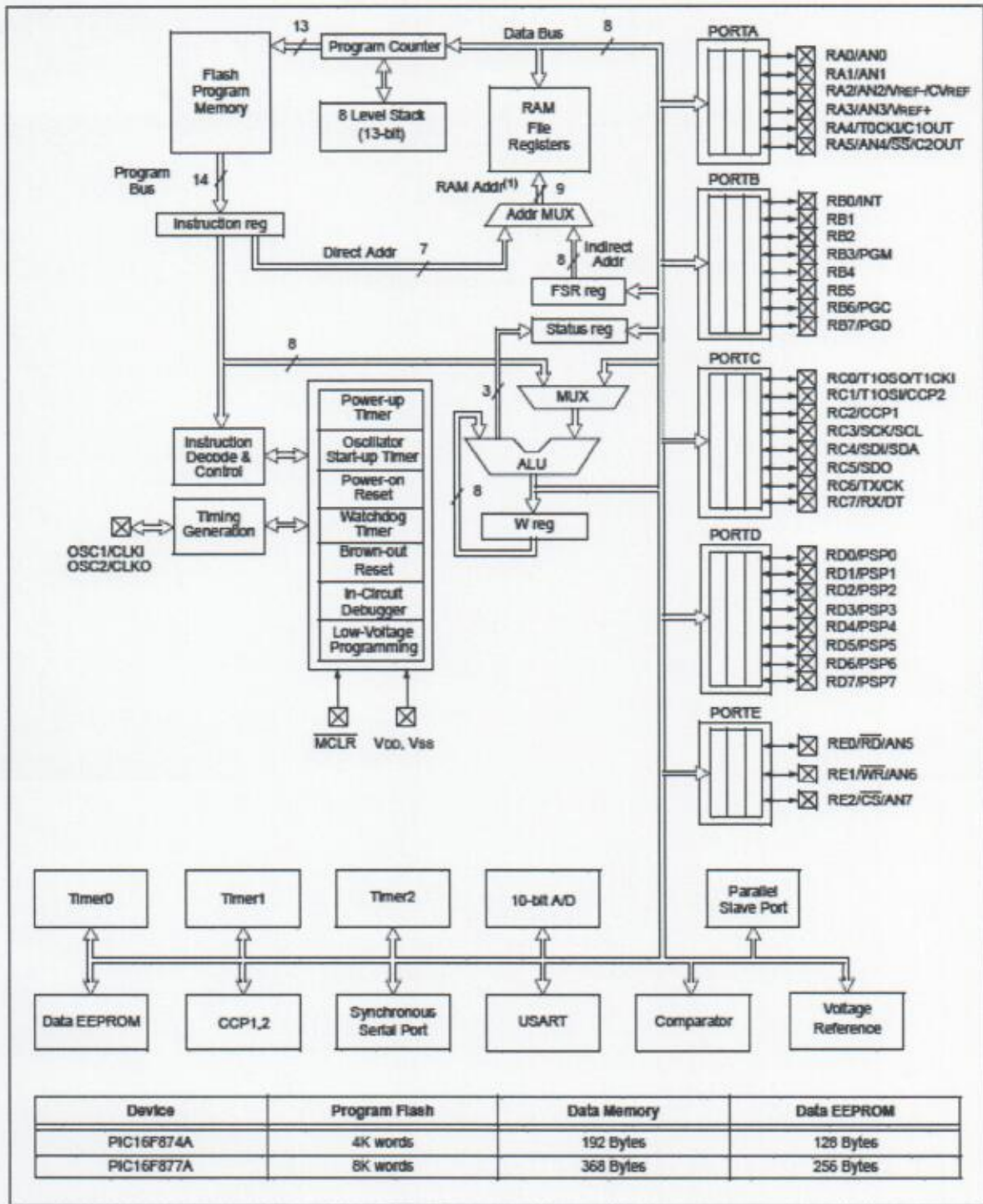
- (Ahonen, 2008) Ahonen T., Virrankoski R., Elmusrati M., (2008). *Greenhouse Monitoring with Wireless Sensor Network*. IEEE/ASME International Conference, Beijing, China. DOI: 10.1109/MESA.2008.4735744, Recuperado de http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4735744
- (Alpi, 1990) Alpi A., Tognoni F., (1990). *Cultivo en invernadero*, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- (Angulo, 2003) Angulo U. José M., Angulo M. Ignacio, (2003). *Microcontroladores PIC Diseño práctico de aplicaciones, Primera parte. El PIC16F84 Lenguajes PBASIC y Ensamblador*, España: McGRAW-HILL.
- (ASUR, s.f.) ASUR, (s.f.). Consultado Noviembre 15, 2010 en Escala de Vientos Beaufort, Recuperado de http://www.asur.com.mx/huracan/artman/publish/article_40.asp
- (Caldari, 2007) Caldari, J. P., (2007). *Manejo de la luz en invernaderos. Los beneficios de luz de calidad en el cultivo de hortalizas*, I Simposio internacional de invernaderos, México.
- (Capraro, 2005) Capraro F., Roberti F., Fullana R., Schugurensky C., Patiño D., (2005). *Diseño de un Sistema de Monitoreo para el Control Automático del Microclima en Invernaderos*. Proceedings de las JII 2005, San Juan, Argentina.
- (Capraro, 2009) Capraro F., Tosetti S., Patiño D., Schugurensky C., Vita F., Fullana R., Campillo P., (2009). *Ambiente de Simulación, Monitoreo y Control Remoto de un Sistema de Riego por Goteo*. Congreso Argentino de AgroInformática (CAI 2009), San Juan, Argentina. pp. 130-144, 2009.
- (Casillas, 2003) Casillas C. J., Gómez P. M., (2003). *Desarrollo de un software para el control automático de temperatura interna de un invernadero*, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, México.

- (Cerde, 2008) Cerda D., Estrada I., Sánchez D., Sandoval J., (2008), *Robot Móvil para la Fumigación en Invernaderos*, Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Robótica Industrial IPN, México.
- (Córdoba, 2007) Córdoba Kruger E. J., (2007). *Propuesta de diseño de un sensor de conductancia aerodinámica y de velocidad de aire para el control de la ventilación en invernaderos*, Tesis Profesional, Chapingo, México.
- (Dennis, 2007) Dennis, R. R., (2007). *La tecnología de invernadero en el valle del yaqui. Una alternativa para el desarrollo regional*, Octavo congreso nacional y cuarto congreso internacional de la red de investigación y docencia sobre innovación tecnológica, Sinaloa, México.
- (Gallego, 2007) Gallego B. H. A., Orozco G. H., Cortés B. C., (2007). *Los Microcontroladores PIC 16F877 y su aplicación en prácticas de laboratorio*, Scientia Et Technica,13(037), 539-544.
- (Ganssle, 2008) Ganssle J., (2008). *The Art of Designing Embedded Systems*, USA: Ed. Newnes.
- (García, 1994) García F. L. A., (1994). *Guía para cultivar flor de crisantemo en invernadero*, México: ICAMEX.
- (Humedad en el suelo, s.f.) Humedad en el suelo,(s.f.). Consultado Noviembre 11, 2010 en *Información Técnica: Ábacos y Tablas*. Recuperado de http://www.elriego.com/informa_te/abacos/humedad_en_el_suelo.htm
- (Ji, 2007) Ji B., Zou C., Wang Y., (2007). *Distributed Measurement and Control System Used in Agricultural Greenhouse Based on Single-chip Controller*. CNKI Journal, DOI: CNKI:ISSN:1671-4598.0.2007-01-025, Recuperado de http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-JZCK200701025.htm.
- (Lugo, 2010) Lugo E. O., (2010). *Automatización del riego con base en dispositivos móviles*. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados, México.

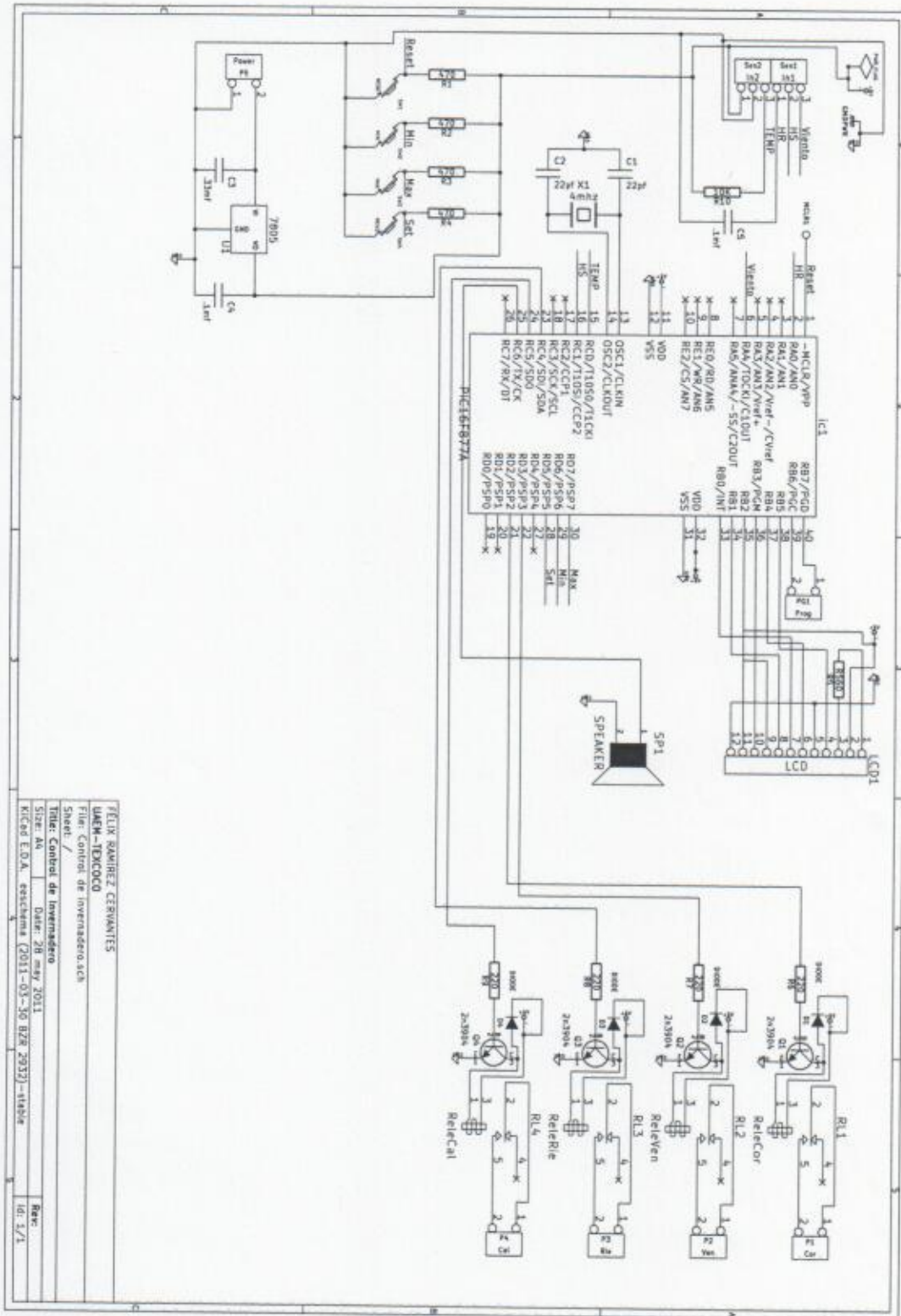
- (Mandado, 2007) Mandado P. E., Menéndez F. L. M., Fernández F. L., López M. E., (2007). *Microcontroladores PIC. Sistema integrado para el autoaprendizaje*, España: Marcombo Ediciones Técnicas.
- (Maxinez, 2007) G. Maxinez D., (2007). *VHDL El arte de programar sistemas digitales*, México: Ed. CECSA.
- (microEngineering, 2009) microEngineering Labs, (2009). *PICBASIC PRO Compiler [Computer software]*, USA: microEngineering Labs, Inc.
- (Morris, 2002) Morris M., (2002). *Digital Design, Third Edition*, USA: PRENTICE HALL, INC.
- (Pallás, 2007a) Pallás A. Ramón, Valdés P. Fernando, (2007), *Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC*, España: Marcombo, Ediciones Técnicas.
- (Pallás, 2007b) Pallás A. Ramón, (2007). *Sensores y acondicionadores de señal*, España: Marcombo, Ediciones Técnicas.
- (Raya, 2004) Raya G. Cristobal, Angulo B. Cecilio, (2004). *Tecnología de sistemas de control*, España: Edicions UPC.
- (Reverter, 2008) Reverter C. Ferran, Pallás A. Ramon,(2008). *Circuitos de interfaz directa sensor-microcontrolador*, España:Marcombo.
- (Reyes, 2006) Reyes Carlos A., (2006). *Microcontroladores PIC Programación en Basic*, Ecuador: Ed. RISPERGRAF.
- (Rivas, 2007) Rivas G., Granados E., (2007). *Diseño del sistema de control secuencial de operación de cuatro compresores*, Tesis de Licenciatura en ingeniería en control y automatización, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica IPN, México.
- (Sánchez, 2001) Sánchez G. Alejandro, Villarreal G. Federico, (2001). *Diseño y construcción de los sistemas de control de temperatura, ventilación y riego en un modelo de invernadero*, Tesis de Licenciatura en ingeniería mecánica agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, México.

- (Shany, 2007) Shany M., (2007). *Tecnología de producción bajo cobertura*, Israel: CINADCO.
- (SIAP, 2010) SIAP, (2010). *Anuario estadístico de la producción agrícola*, Consultada el 16 de mayo de 2010, en <http://www.siap.gob.mx/>
- (Teres, 1998) Teres, Ll., Torroja Y., Olcoz S., Villar E., (1998). *VHDL Lenguaje estándar de diseño electrónico*, España: McGraw-Hill.
- (Vance, 1973) Vance W., (1973). *VERTICAL AXIS WIND ROTORS - STATUS AND POTENTIAL*, NSF/RAW-73-006, 96.

Anexo A: Diagrama de bloques del PIC 16F877A

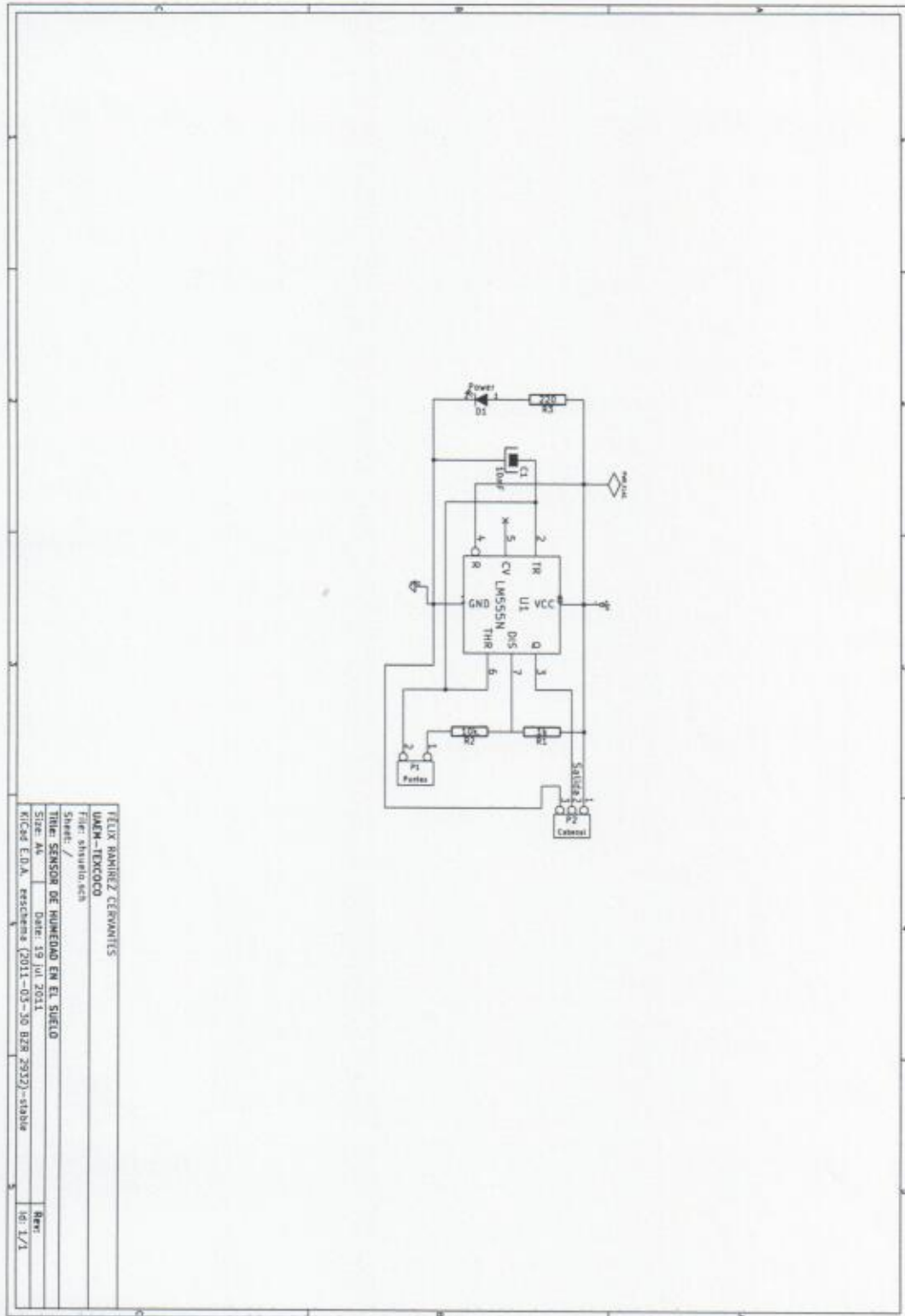


Anexo B: Diagrama del modulo central



FELIX RAMIREZ CERRANITES
 UDEM-TEXCOCO
 Filio: Control de Invernadero.sch
 Sheet: /
 Titulo: Control de Invernadero
 Size: A4 Date: 28 may 2011
 KICAD E.O.A. esquema [2011-05-30 BZ8 2032]-titan
 Rev: Idi: 2/1

Anexo C: Sensor de Humedad en el suelo



Anexo D: Tabla Funcional

vcontrol	Entrada de los sensores							Salida de los actuadores				Out-Dec	Dec	
	1	2	3	4	5	6	7	Dec	vent	cal	cor			rie
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0
2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	1	0	10	2
4	0	0	0	0	0	1	1	3	1	0	0	0	8	3
5	0	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	1	1	4
6	0	0	0	0	1	0	1	5	0	0	0	1	1	5
7	0	0	0	1	0	0	0	8	1	0	1	0	10	6
8	0	0	0	1	0	0	1	9	1	0	0	1	9	9
9	0	0	0	1	0	1	0	10	1	0	1	0	10	10
10	0	0	0	1	0	1	1	11	1	0	0	0	8	11
11	0	0	0	1	1	0	0	12	1	0	1	0	10	12
12	0	0	0	1	1	0	1	13	1	0	0	0	8	13
13	0	0	1	0	0	0	0	16	0	0	0	1	1	16
14	0	0	1	0	0	0	1	17	0	0	0	1	1	17
15	0	0	1	0	0	1	0	18	0	0	0	0	0	18
16	0	0	1	0	0	1	1	19	0	0	0	0	0	19
17	0	0	1	0	1	0	0	20	0	0	0	1	1	20
18	0	0	1	0	1	0	1	21	0	0	0	1	1	21
19	0	1	0	0	0	0	0	32	1	0	1	0	10	32
20	0	1	0	0	0	0	1	33	1	0	0	0	8	33
21	0	1	0	0	0	1	0	34	1	0	1	0	10	34
22	0	1	0	0	0	1	1	35	1	0	0	0	8	35
23	0	1	0	0	1	0	0	36	1	0	1	0	10	36
24	0	1	0	0	1	0	1	37	1	0	0	0	8	37
25	0	1	0	1	0	0	0	40	1	0	1	0	10	40
26	0	1	0	1	0	0	1	41	1	0	0	0	8	41
27	0	1	0	1	0	1	0	42	1	0	1	0	10	42
28	0	1	0	1	0	1	1	43	1	0	0	0	8	43
29	0	1	0	1	1	0	0	44	1	0	1	0	10	44
30	0	1	0	1	1	0	1	45	1	0	0	0	8	45
31	0	1	1	0	0	0	0	48	1	0	1	0	10	48
32	0	1	1	0	0	0	1	49	1	0	0	0	8	49
33	0	1	1	0	0	1	0	50	1	0	1	0	10	50
34	0	1	1	0	0	1	1	51	1	0	0	0	8	51
35	0	1	1	0	1	0	0	52	1	0	1	0	10	52
36	0	1	1	0	1	0	1	53	1	0	0	0	8	53
37	1	0	0	0	0	0	0	64	1	1	0	0	12	64
38	1	0	0	0	0	0	1	65	1	1	0	0	12	65
39	1	0	0	0	0	1	0	66	1	1	0	0	12	66
40	1	0	0	0	0	1	1	67	1	1	0	0	12	67
41	1	0	0	0	1	0	0	68	1	1	0	0	12	68
42	1	0	0	0	1	0	1	69	1	1	0	0	12	69
43	1	0	0	1	0	0	0	72	1	1	0	0	12	72
44	1	0	0	1	0	0	1	73	1	1	0	0	12	73
45	1	0	0	1	0	1	0	74	1	1	0	0	12	74
46	1	0	0	1	0	1	1	75	1	1	0	0	12	75
47	1	0	0	1	1	0	0	76	1	1	0	0	12	76
48	1	0	0	1	1	0	1	77	1	1	0	0	12	77
49	1	0	1	0	0	0	0	80	1	1	0	0	12	80
50	1	0	1	0	0	0	1	81	1	1	0	0	12	81
51	1	0	1	0	0	1	0	82	1	1	0	0	12	82
52	1	0	1	0	0	1	1	83	1	1	0	0	12	83
53	1	0	1	0	1	0	0	84	1	1	0	0	12	84
54	1	0	1	0	1	0	1	85	1	1	0	0	12	85

Entrada de los sensores
 tb: Temperatura Baja
 ta: Temperatura Alta
 hb: Humedad Relativa Baja
 ha: Humedad Relativa Alta
 sb: Humedad en el Suelo Baja
 sa: Humedad en el Suelo Halta
 va: Velocidad Vista Exterior Alta

Salida de los actuadores
 vent: Ventilador
 cal: Calefactor
 cor: Cortinero
 rie: Riego

Anexo E: Tabla de Resultados Prueba Uno

	Medidas de los sensores:				Binario-Indicado-en LCD							Decimal-en-LCD	Salidas-en-LEDS			
	Temperatura °C	H-Relativa %	H-Suelo %	Viento km/h	tbaja	talta	hbaja	halta	sbajo	salto	valto		K	R	V	C
													Calefactor	Riego	Ventilador	Ventilas
1	25	56	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	OFF	OFF	OFF	ON
2	26	58	15	17	0	0	0	0	0	0	1	1	OFF	OFF	OFF	OFF
3	25	58	90	0	0	0	0	0	0	1	0	2	OFF	OFF	ON	ON
4	24	58	90	16	0	0	0	0	0	1	1	3	OFF	OFF	ON	OFF
5	24	58	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	OFF	ON	OFF	OFF
6	25	58	0	17	0	0	0	0	1	0	1	5	OFF	ON	OFF	OFF
7	25	70	14	0	0	0	0	1	0	0	0	8	OFF	OFF	ON	ON
8	25	69	14	17	0	0	0	1	0	0	1	9	OFF	ON	ON	OFF
9	25	70	90	0	0	0	0	1	0	1	0	10	OFF	OFF	ON	ON
10	24	69	90	18	0	0	0	1	0	1	1	11	OFF	OFF	ON	OFF
11	24	69	0	0	0	0	0	1	1	0	0	12	OFF	OFF	ON	ON
12	24	69	0	17	0	0	0	1	1	0	1	13	OFF	OFF	ON	OFF
13	25	49	13	0	0	0	1	0	0	0	0	16	OFF	ON	OFF	OFF
14	25	49	13	19	0	0	1	0	0	0	1	17	OFF	ON	OFF	OFF
15	25	49	89	0	0	0	1	0	0	1	0	18	OFF	OFF	OFF	OFF
16	25	49	89	18	0	0	1	0	0	1	1	19	OFF	OFF	OFF	OFF
17	24	49	0	0	0	0	1	0	1	0	0	20	OFF	ON	OFF	OFF
18	24	49	0	17	0	0	1	0	1	0	1	21	OFF	ON	OFF	OFF
19	30	56	20	0	0	1	0	0	0	0	0	32	OFF	OFF	ON	ON
20	29	59	20	16	0	1	0	0	0	0	1	33	OFF	OFF	ON	OFF
21	31	54	86	0	0	1	0	0	0	1	0	34	OFF	OFF	ON	ON
22	32	59	85	19	0	1	0	0	0	1	1	35	OFF	OFF	ON	OFF
23	30	57	0	0	0	1	0	0	1	0	0	36	OFF	OFF	ON	ON
24	33	59	0	18	0	1	0	0	1	0	1	37	OFF	OFF	ON	OFF
25	29	76	20	0	0	1	0	1	0	0	0	40	OFF	OFF	ON	ON
26	31	65	20	19	0	1	0	1	0	0	1	41	OFF	OFF	ON	OFF
27	32	71	83	0	0	1	0	1	0	1	0	42	OFF	OFF	ON	ON
28	29	69	83	16	0	1	0	1	0	1	1	43	OFF	OFF	ON	OFF
29	31	73	0	0	0	1	0	1	1	0	0	44	OFF	OFF	ON	ON
30	29	78	0	18	0	1	0	1	1	0	1	45	OFF	OFF	ON	OFF
31	30	49	25	0	0	1	1	0	0	0	0	48	OFF	OFF	ON	ON
32	29	49	25	20	0	1	1	0	0	0	1	49	OFF	OFF	ON	OFF
33	29	49	80	0	0	1	1	0	0	1	0	50	OFF	OFF	ON	ON
34	30	48	79	17	0	1	1	0	0	1	1	51	OFF	OFF	ON	OFF
35	30	48	0	0	0	1	1	0	1	0	0	52	OFF	OFF	ON	ON
36	29	49	0	17	0	1	1	0	1	0	1	53	OFF	OFF	ON	OFF
37	20	53	20	0	1	0	0	0	0	0	0	64	ON	OFF	ON	OFF
38	21	54	20	19	1	0	0	0	0	0	1	65	ON	OFF	ON	OFF
39	22	55	75	0	1	0	0	0	0	1	0	66	ON	OFF	ON	OFF
40	20	55	75	17	1	0	0	0	0	1	1	67	ON	OFF	ON	OFF
41	21	55	0	0	1	0	0	0	1	0	0	68	ON	OFF	ON	OFF
42	20	55	0	19	1	0	0	0	1	0	1	69	ON	OFF	ON	OFF
43	21	77	18	0	1	0	0	1	0	0	0	72	ON	OFF	ON	OFF
44	20	76	18	18	1	0	0	1	0	0	1	73	ON	OFF	ON	OFF
45	21	71	88	0	1	0	0	1	0	1	0	74	ON	OFF	ON	OFF
46	22	77	88	17	1	0	0	1	0	1	1	75	ON	OFF	ON	OFF
47	22	65	0	0	1	0	0	1	1	0	0	76	ON	OFF	ON	OFF
48	21	75	0	16	1	0	0	1	1	0	1	77	ON	OFF	ON	OFF
49	22	49	13	0	1	0	1	0	0	0	0	80	ON	OFF	ON	OFF
50	22	49	13	18	1	0	1	0	0	0	1	81	ON	OFF	ON	OFF
51	21	49	98	0	1	0	1	0	0	1	0	82	ON	OFF	ON	OFF
52	22	49	98	16	1	0	1	0	0	1	1	83	ON	OFF	ON	OFF
53	22	49	0	0	1	0	1	0	1	0	0	84	ON	OFF	ON	OFF
54	21	49	0	18	1	0	1	0	1	0	1	85	ON	OFF	ON	OFF

Anexo F: Tabla de Resultados Prueba Dos

	Medidas de los sensores:				Binario-Indicado-en-LCD								Decimal-en-LCD	Salidas-en-LEDS:				CORRESPONDE
	Temperatura °C	H-Relativa %	H-Suelo %	Viento km/h	tbaja	talta	hbaja	halta	sbajo	salto	valto	K		R	V	C		
												Calefactor		Riego	Ventilador	Ventilas		
A	25	57	25	0	1	0	0	0	0	1	0	66	ON	OFF	ON	OFF	39	
B	24	79	87	18	1	0	0	0	1	0	0	68	ON	OFF	ON	OFF	41	
C	30	59	0	0	0	1	0	0	1	0	0	36	OFF	OFF	ON	ON	23	
D	29	68	0	17	0	1	0	1	1	0	1	45	OFF	OFF	ON	OFF	30	
E	24	59	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	OFF	ON	OFF	OFF	5	

Anexo G: Tabla de Resultados Prueba Tres

	Medidas de los sensores:				Binario-Indicado-en LCD								Decimal-en-LCD	Salidas-en-LEDS				CORRESPONDE
	Temperatura °C	H-Relativa %	H-Suelo %	Viento km/h	tbaja	talta	hbaja	halta	sbajo	salto	valto	K		R	V	C		
												Calefactor		Riego	Ventilador	Ventilas		
A	19	57	0	18	1	0	0	0	1	0	1	69	ON	OFF	ON	OFF	42	
B	30	58	82	17	0	1	0	0	0	1	1	35	OFF	OFF	ON	OFF	22	
C	29	81	82	17	0	1	0	1	0	1	1	43	OFF	OFF	ON	OFF	28	
D	20	79	81	0	1	0	0	1	0	1	0	74	ON	OFF	ON	OFF	45	
E	24	59	81	0	0	0	0	0	0	1	0	2	OFF	OFF	ON	ON	3	