

122
2ij



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE RIEGO POR GOTEO EN INVERNADEROS"

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO . MECANICO-ELECTRICISTA
(AREA ELECTRICA-ELECTRONICA)**

P R E S E N T A :

EDWIN LOLO MELGAREJO CANSECO

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. JORGE RODRIGUEZ CUEVAS



MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Dedicó este trabajo a mis padres
Lolo y Dora
y a mis hermanas
Deissy y Martha
por su confianza, comprensión y ayuda moral que
siempre me han brindado en todo momento.**

**"Lo más importante no es trabajar
sino producir y disfrutar el fruto de nuestro trabajo".**

Roger Patrón Luján.

Indice temático.

Introducción.

- 1. Planteamiento del problema y consideraciones de diseño.**
 - 1.1 Planteamiento de los parámetros de riego por goteo para el invernadero.**
 - 1.2 Descripción del sistema de riego por goteo.**
 - 1.2.1 Unidad de control.**
 - 1.2.2 Sistemas de decantación.**
 - 1.2.3 Ramas principales de alimentación de agua.**
 - 1.2.4 Goteros.**
 - 1.2.5 Filtros.**
 - 1.2.6 Sistema de control de bomba para la cisterna.**
 - 1.3 Problema a resolver y consideraciones de diseño.**
- 2. Características del riego por goteo.**
 - 2.1 Antecedentes históricos.**
 - 2.2 Sistemas de riego**
 - 2.3 Síntesis de las ventajas del riego por goteo.**
 - 2.4 Problemas en el sistema de riego por goteo.**
- 3. Caracterización de los transductores a utilizar.**
 - 3.1 Características necesarias.**
 - 3.2 Tipos de transductores.**
 - 3.2.1 Transductor de temperatura ambiental e interior.**
 - 3.2.2 Transductor de humedad relativa.**
 - 3.3 Ventajas y desventajas de los transductores de humedad.**
- 4. Diseño de los acondicionadores.**

4.1 Acondicionamiento de las señales de temperatura ambiental e interior.

4.2 Acondicionamiento de la señal de humedad relativa.

5. Desarrollo del sistema.

5.1 Características de microcontroladores.

5.2 Requerimientos del sistema.

5.2.1 Selección del microcontrolador.

- El 68HC11A1

5.2.2 Arquitectura.

- Memoria externa.
- Manejador de encendido.

5.2.3 Decodificación.

5.2.4 Puertos.

- Entradas/Salidas digitales.
- Entradas analógicas.

5.2.5 Comunicación con la PC.

5.3 Hardware para la pantalla de cristal líquido.

5.4 Etapa de Salida para las electroválvulas, calentador y ventilador.

6. Desarrollo del software.

6.1 Conversión de las señales analógicas a digitales.

7. Pruebas y mediciones.

7.1 Pruebas en laboratorio.

7.2 Pruebas en campo.

8. Conclusiones.

Bibliografía.

Apéndice A

Diagramas eléctricos.

Apéndice B

Listado del programs.

INTRODUCCION

El ser humano, para satisfacer de la mejor manera la necesidad de alimentación, tuvo que encarar el problema de cómo producir, por lo que primero se interesó por la agricultura y posteriormente ir ideando técnicas para el mejoramiento de la producción. Para obtener la producción que sus necesidades requieren, tiene que resolver problemas creados por los distintos factores que actúan e interactúan sobre las plantas; dichos factores pueden situarse en dos grupos: los de orden biótico¹ y los de orden abiótico².

En el manejo de ambos, el hombre ha obtenido varios logros para conseguir una mejor producción, por ejemplo: el riego adecuado, la siembra oportuna, el mejor uso y manejo del suelo, uso de variedades adecuadas, combate de especies dañinas, etc. Desafortunadamente, el control de los factores bióticos y abióticos que pueda el hombre ejercer sobre tales, no es muchas veces completo o como desea; de esta forma, uno o varios de dichos factores toman el carácter de limitantes para la producción de los cultivos.

Entre los factores bióticos que revisten esta cualidad está el de los insectos; éstos, al igual que las plantas, han venido evolucionando e incluso han llegado a especializarse tanto, que en un ambiente adecuado pueden convertirse en un problema serio para la producción. En tales casos, se puede pensar que el hombre ha fallado en resolver el problema o que la solución está fuera de su alcance; pero quizás sea cierto lo primero en lo referente a conocer más de cerca los factores bióticos que pueden ser limitantes y sus relaciones con el ambiente en general, para después poder ensayar métodos o técnicas que eviten el problema.

Se tratará de controlar los factores abióticos, como son la temperatura y humedad relativa; el agua representa un recurso vital para la existencia de la naturaleza y del hombre. A través de la historia el hombre ha transformado su entorno; las adversidades surgidas en el transcurso de su desarrollo fueron relativamente solucionadas, pero ahora tiene el problema de la contaminación del agua, el cual traerá como consecuencia una serie de inconvenientes que ya lo estamos viviendo, a esto se debe sumar la existencia de grandes problemas de evaporación en las zonas cálidas, como es el caso de México, cuyas aguas pluviales antes de ser utilizadas sufren una pérdida por evaporación superior al 55%.

¹ Biótico. (De biosis). Que se refiere a las unidades orgánicas que componen la biósfera. Una asociación biótica es una asociación que comprende elementos de flora y fauna a la vez.

² Abiótico. (De biótico, propio de la vida, con la partícula negativa a-), Adj. contrario a la vida, porque no tiene condiciones de habitabilidad, como las regiones atmosféricas elevadas, o porque destruye aquella, como ciertas radiaciones: medio abiótico.

Considerando una perspectiva global, el agua y la desertificación constituyen actualmente dos importantes desafíos, los cuales no sólo implican una problemática ecológica sino también adopta una dimensión socioeconómica, pues las áreas con más dificultades de este tipo corresponden a los pueblos en vías de desarrollo.

Tomando en cuenta lo anterior el objetivo es diseñar y construir un sistema de control de riego por goteo cuya característica será controlar y racionalizar la cantidad de agua en función de un determinado tipo de cultivo, y así como de aumentar la producción de cultivo y la calidad del producto.

FALTA PAGINA

No.

6



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio se encuentran los mayores desiertos del mundo, que cubren una superficie del 43% del planeta, de los cuales un 36% son naturales y el 7% restante, provienen del mal manejo de los recursos naturales (suelo y agua principalmente), constituyendo el fenómeno de desertificación.

El volumen hidrológico de la tierra es aproximadamente de 1,500 millones de Km³ de los cuales el 7% corresponden a una disponibilidad de aguas dulces.

Esta distribución da un alerta sobre la importancia de este recurso, pues las aguas marinas representan el 93% del globo y requieren fuertes inversión de capital para la tecnología de desalinización, estando aún en sus primeros pasos técnicos.

Del 7% de aguas dulces restantes, un 96.58% de la misma es agua subterránea, provocando también elevados costos para su utilización, además de contener altos porcentajes de sales, estas sales determinan la calidad del agua de riego y para determinar la conveniencia del agua que se pretende utilizar con fines de riego, debe tomarse en cuenta la composición química de ésta, la tolerancia de los cultivos a las sales, las propiedades físicas y químicas de los suelos, ya que las sales solubles tienen un efecto nocivo cuando su concentración es elevada en gran medida y por tanto perjudica la preservación del suelo lo cual está relacionado con la disminución en los rendimientos de la cosecha.

Los países en vías de desarrollo demandan el uso de agua fundamentalmente para la agricultura; por ejemplo México, con un consumo per cápita de 920 [m³]. Destina:

- 4% a zonas rurales y urbanas,
- 5% para la industria, y
- 91% para la agricultura.

México es uno de los países "en vías de desarrollo" con el más alto consumo per cápita.

Las conclusiones sobre los problemas del agua en el mundo conducen a una serie de puntos a profundizar:

1. Aumentar los estudios sobre el tema, su utilización y alternativas técnicas.
2. Control del agua, aprovechamiento y preservación.
3. Planeación socioeconómica del recurso.

Estos tres puntos están vinculados y orientados hacia la producción de alimentos, al desarrollo rural y regional, como también a la producción energética.

El control, aprovechamiento y preservación del agua es el más importante, debido a que es un elemento vital para los cultivos. Por medio de un sistema de control de riego por goteo para invernaderos podemos racionalizar el agua que será necesaria para el tipo de cultivo específico, asimismo tendremos un mayor ahorro de agua y una preservación de los suelos, evitando de esta manera la desertificación.

A partir de los sistemas clásicos de riego que explicaremos en el capítulo siguiente, el sistema que proponemos será el de automatizar dicho sistema de riego, para mejorar el aprovechamiento del recurso "agua", el rendimiento y el mejoramiento de la calidad de producción, y presentación del producto.

1.1 Planteamiento de los parámetros de riego por goteo para el invernadero.

Los parámetros de diseño para el sistema de control de riego por goteo son la temperatura ambiente, la temperatura interior y la humedad relativa interior, los dos últimos parámetros serán medidos dentro del invernadero. Estos tres parámetros de medición nos determinarán si es necesario suministrar agua en la zona radicular de la planta y ver que cantidad será la necesaria para que se mantenga potencialmente a capacidad de campo, esto será de acuerdo a las características del terreno, que son: la textura, la estructura, el contenido de poros, el contenido de materia orgánica, la temperatura y del perfil de suelo considerado, las condiciones atmosféricas y a las prácticas de campo que se realizarán.

Las expresiones para la humedad del suelo basada en la disponibilidad de agua con relación a los vegetales³ se clasifican en:

Agua de gravitación. Es el agua que se drena por acción de la gravedad de la zona radicular de los cultivos.

³ Tomado de Thorne (1965), citado en Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera.

Agua no disponible. Es el agua que se encuentra retenida por la fuerza capilar y que a las plantas se les dificulta mucho su aprovechamiento.

Agua disponible o Humedad aprovechable. Es el agua que puede ser aprovechada por la planta y se define como la diferencia entre la humedad a capacidad de campo y la humedad en el punto de marchitamiento permanente de una planta.

La profundidad que nos interesa es fundamentalmente hasta donde llegan las raíces de la planta; si se humedece más allá se estará desperdiciando el agua.

Para los parámetros de humedad del suelo, los métodos directos e indirectos sirven para la determinación de la humedad del suelo, aunque laboriosos y costosos son de gran valor, todos estos sirven para determinar la capacidad de campo (CC) y el porcentaje de marchitamiento permanente (PMP), para estos dos parámetros existen una variedad de métodos como:

Métodos directos:

- **Método del tacto.**
- **Método gravimétrico.**

Métodos indirectos:

- **Tensiómetros.**
- **Bloques de yeso.**
- **Aspersor de neutrones.**
- **Medidor rápido de humedad speedy.**

Es importante saber, el Esfuerzo de Humedad del Suelo (EHS) ya que conforme se va humedeciendo un suelo seco, el agua va ocupando sus poros hasta que llega a la saturación, y es cuando empieza a escurrir el agua debido a la acción de la gravedad principalmente, pero una vez escurrido el exceso de agua el suelo queda a su máxima capacidad de retención y se dice que está a capacidad de campo, y entre sus partículas queda retenida el agua debida a la acción de dos fuerzas: la tensión superficial y la fuerza de absorción.

La tensión superficial o fuerza de cohesión del agua se define como la fuerza de atracción entre moléculas que sugiere la existencia de una película en la superficie de los líquidos, a causa del enlace de hidrógeno, las moléculas del agua son fuertemente atraídas entre sí, de esta manera el agua tiene una fuerza de tensión muy peculiar.

La fuerza de absorción es un fenómeno físico de superficie y cuya fuerza es la naturaleza eléctrica, ocurre principalmente a nivel coloidal por presentar una gran superficie en un volumen relativamente pequeño.

A la suma de estas dos fuerzas se le llama **tensión de humedad del suelo (THS)**. Estas fuerzas de tensión se oponen a las fuerzas de absorción de las raíces de las plantas, pero estas a su vez para absorber el agua del suelo tienen que vencer otra fuerza, la fuerza de **tensión osmótica⁴** que es la presión necesaria para contrarrestar el paso del agua pura al interior de una solución acuosa a través de una membrana semipermeable, evitando así un incremento en el volumen de la solución.

A la suma de las fuerzas de tensión, más la presión osmótica se le llama **Esfuerzo de Humedad del Suelo (EHS)**, el cual define el potencial de humedad y se expresa en unidades de presión.

$$\text{EHS} = P_o + T \text{ [Atm]}$$

Donde:

- EHS** = Esfuerzo de humedad del suelo, [atm].
- T** = Tensión, [atm].
- P_o** = Presión osmótica, [atm].

Las curvas de tensión de humedad del suelo se definen de acuerdo al tipo de suelo, por ejemplo para un tipo de suelo arcillo-arenoso tenemos:

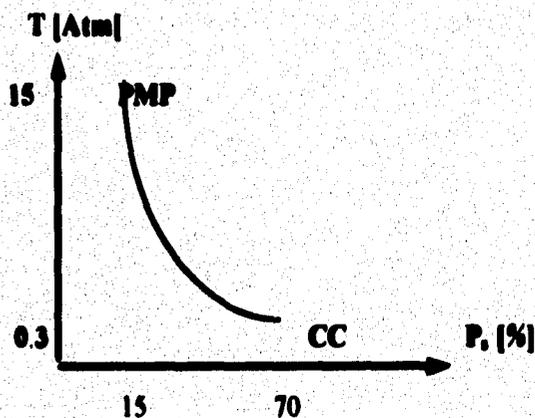


Figura 1.1 Forma aproximada de la curva de tensión de humedad del suelo en un suelo arcillo-arenoso. Fuente: Palacios V. (1966).

⁴ Tomado de Devlin (1976) citada en Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera.

El agua presenta histéresis de agua del suelo en donde depende de la temperatura, estructura y composición del suelo. La histéresis se presenta cuando succionamos de un espacio poroso de un suelo y la succión va en aumento y conforme más agua se extrae, la cantidad de agua que queda se mantiene en los poros más pequeños. El volumen de agua retenido a una succión S_1 , pero es liberado a una succión S_2 , como se puede observar en la gráfica de la Figura 1.2.

Casi todos los procesos vegetales están directa o indirectamente relacionados por el abastecimiento de agua. La actividad metabólica de células y plantas, por ejemplo, se encuentra muy relacionada con el contenido de agua. En las plantas el contenido de agua existente se le llama agua de constitución. Más del 90% de las estructuras vivas de la células (*Protoplasma*) consiste de agua, las paredes de todas las células vegetales vivas están impregnadas de agua y una gran parte del volumen de esas células esta ocupado por vacuolas llenas de jugo celular, agua con varias sustancias disueltas.

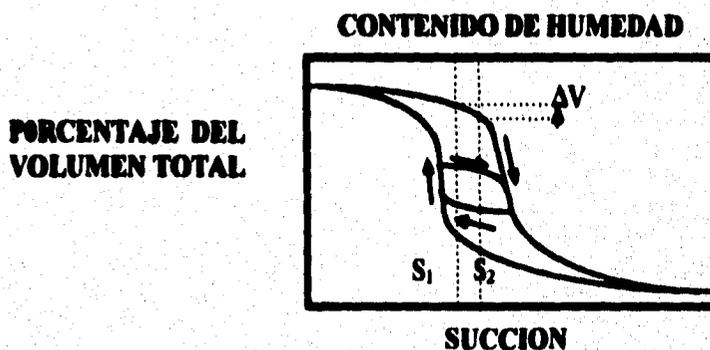


Figura 1.2. Curva característica de humedad de un suelo. Las flechas indican si el suelo esta siendo secado o humedecido progresivamente. La vuelta interior o histéresis se muestra por la línea punteada y es la curva de análisis. Fuente: Luthin (1974).

El agua constituye el 80% o más del peso fresco de la mayoría de las partes de plantas herbáceas y más del 50% del peso fresco de plantas leñosas.

El **Coefficiente de Transpiración o Consumo Relativo** de las plantas que transpiran grandes cantidades de agua que puede cuantificarse dichas cantidades relativas de agua requeridas por lo diferentes cultivos, y puede definirse como el número de kilogramos de agua necesarios para producir un kilogramo de materia seca sin incluir las raíces.

Sin embargo, estos datos sólo tienen un valor limitado porque las necesidades de agua para las plantas varían debido a la influencia que producen los siguientes factores principales:

- Tipo de suelo,
- Contenido de humedad, y
- Fertilización del suelo.

1.2 Descripción del sistema de riego por goteo para invernaderos.

Para la descripción del sistema se puede dividir esquemáticamente en seis partes:

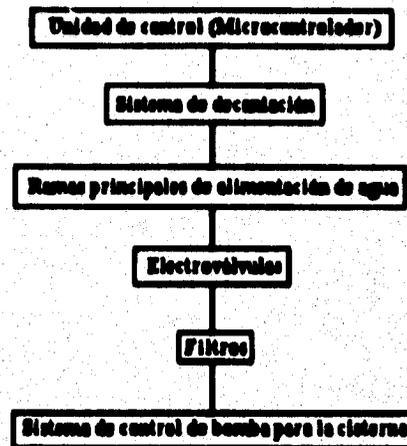


Figura 1.3 Descripción del sistema.

1.2.1 Unidad de control.

La unidad de control constituye el cerebro del sistema; se establece un sistema de acuerdo al tamaño y a las condiciones del terreno ya sea por desniveles que existan de un punto a otro.

Esta unidad de control suministrará agua a la zona radicular de la planta por medio de las electroválvulas, dicha unidad de control contará con un programa de software, y así evitar pérdidas por evaporación de agua que en sistemas clásicos de riego resultan ser muy elevados.

La bomba de agua será controlada por una unidad independiente al microcontrolador para el almacenamiento del agua desde la fuente del recurso, esta bomba para ser más eficiente se recomienda ubicarla en la parte más alta del terreno. Los depósitos de agua varían según su volumen y los requerimientos. Esta capacidad y forma de almacenamiento es uno de los

factores de ahorro de agua. Además, pueden existir depósitos de distinta calidades de agua. En caso de tener aguas salitrosas se realizan las mezclas convenientes para bajar la cantidad total de sales perjudiciales al cultivo.

1.2.2 Sistemas de decantación.

En caso de tener aguas demasiado turbias, es necesario hacer instalaciones especiales de decantación con un buen filtrado de agua, esto con la finalidad de evitar posibles proliferación de plagas y la contaminación de nutrientes no aptos para el terreno.

1.2.3 Ramas principales de alimentación de agua.

Las ramas principales de alimentación del recurso agua trabajan en este sistema a diferencia del sistema de riego por aspersión a bajas presiones, variando según las características del terreno. En terrenos con diferencia de pendientes, la unidad de control como las ramas principales de alimentación de agua se tratará en lo posible colocarla en la parte más alta del terreno, como también las ramas de derivación se colocarán de arriba hacia abajo.

1.2.4 Electroválvulas.

Las líneas de electroválvulas o goteros deberán ser inspeccionadas con frecuencia para detectar el mal funcionamiento, las causas de mal funcionamiento son debido principalmente a la obstrucción y a las velocidades del agua a través de las electroválvulas.

Las fallas serán detectadas observando el encendido y/o apagado del led, si este se encuentra encendido y no circula agua por la electroválvula entonces tenemos una falla y viceversa.

1.2.5 Filtros.

Los filtros son de gran importancia ya que nos evitará la obstrucción de las electroválvulas y la limpieza de las mismas, mejorando de esta manera el funcionamiento del sistema. Los filtros deberán de inspeccionarse en lo posible antes de cada riego.

1.2.6 Sistema de control de bomba para la cisterna.

Este sistema nos permitirá tener un mejor control, un aumento de la eficiencia y una mayor vida útil de la bomba de agua. Se deberá contar con un sistema de almacenamiento de agua, ya sea en la parte más baja del terreno ó más cerca de la fuente de suministró de agua. La

cisterna estará a expensas de que se suministre en forma permanente con el recurso agua. La cisterna al detectar que se encuentra en su nivel mínimo, indicará al sistema para encender la bomba de agua, la cual será transportada al sistema de almacenamiento de la cisterna, y está a su vez se encargará de distribuir a lo largo de sus ramas principales y de derivación.

El sistema de control de bomba se detiene cuando llega al nivel máximo de la cisterna, y estará apagada hasta que descienda nuevamente hasta su nivel mínimo.

Los niveles tanto máximo y como mínimo pueden ser variados sin ningún problema al nivel requerido. El nivel mínimo tiene que estar de preferencia a unos 15 [cm] con el fin de evitar el mal funcionamiento debido principalmente a la decantación de materiales indeseables.

1.3 Problema a resolver y consideraciones de diseño.

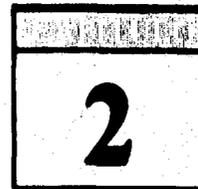
El problema a resolver es precisamente el de racionalizar la utilización del recurso "agua" en invernaderos y evitar pérdidas de cualquier índole. Suponiendo que contamos con una fuente de suministro de agua con un caudal limitado.

Por medio del sistema de control de riego por goteo para invernaderos, podemos tener control del caudal de agua, y lograr un mejor aprovechamiento de este recurso. El aprovechamiento del agua consistirá en determinar que cantidad de agua será necesario suministrar a la(s) planta(s).

Una vez cuantificado el volumen necesario de caudal para un tipo de cultivo, podemos establecer en nuestro diseño el tiempo necesario de encendido de cada electroválvula, para esto es necesario determinar en forma práctica que volumen de agua desaloja una electroválvula en un período de tiempo establecido.

La temperatura y la humedad relativa en el invernadero condicionan a que las plantas estén en un ambiente óptimo para su buen desarrollo. El sistema de control no permitirá que condiciones extremas lleguen a pasar, las cuales pueden ser perjudiciales para nuestro cultivo.

Los niveles adecuados para un cultivo específico tanto de temperatura como de humedad relativa son determinados en campo.



CARACTERISTICAS DEL RIEGO POR GOTEO

2.1 Antecedentes históricos.

El arte de regar es muy antiguo. En el transcurso de la historia, las civilizaciones han sufrido la influencia de la evolución del regadío. Civilizaciones enteras han florecido y se han extinguido sobre tierras regadas. La mayor parte de los expertos en cuestiones de riego están convencidos de la duración indefinida de tales culturas, siempre y cuando el regadío se practique racionalmente. A través de la Historia escrita de la humanidad existen documentos que muestran la antigüedad del riego. Cabe citar los sistemas de riego de Egipto, Mesopotamia, la India, China, etc. En el Génesis se cita a Amraphes, rey de Shinar y contemporáneo de Abraham, que probablemente sea el mismo Hammurabi, sexto rey de la primera dinastía de Babilonia, el cual promulgó el llamado Código de Hammurabi de cuyo contenido se deduce que la existencia de la gente dependía del riego.

Existen documentos sobre la continuidad del riego en el Valle del Nilo, durante miles de años, y de la misma manera y por periodos relativamente largos en Siria, Persia, India, Java e Italia.

Egipto se precia de poseer la presa más antigua del mundo, construida hace 5,000 años, para almacenar agua para el riego y abastecimiento de la población, y cuyas características son: 108 [m] de longitud por 12 [m] de altura.

El sistema de riego implantado en el Nilo hacia el año 3300 a. de C. todavía desempeña un papel importante en la agricultura egipcia.

Cabe citar en la Historia de la Irrigación a Perú y México, ya que cuando llegaron los españoles por primera vez a estos países, encontraron instalaciones de cierta complejidad que habían sido utilizadas para conducir y almacenar reservas de agua. Los Incas dejaron muestra del desarrollo de su civilización en Cuzco y de su agricultura en las terrazas de Macchu Picchu (Posadas, 1978).

2.2 Sistemas de riego.

Los sistemas clásicos de riego por alcorques⁵, por tablas y por surco requieren grandes cantidades de agua y una determinada nivelación del suelo. Es así que estos sistemas se escogen según la pendiente del terreno.

El riego por alcorques se utiliza en pendientes de 0.8 a 2.5 por mil, pero normalmente oscilan entre el 2 y 3%, ver Figura 2.1.

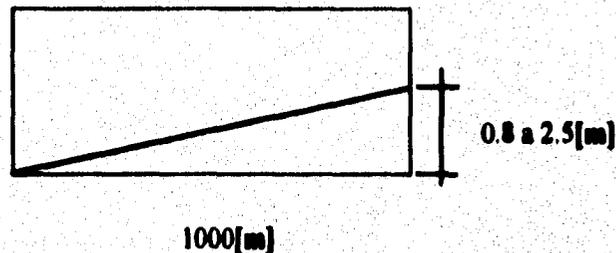


Figura 2.1 Nivelación del suelo para riego por alcorques.

El riego por Tablas se implementa en pendientes mayores, al igual que los sistemas de riego por surco que llegan a utilizarse en pendientes de hasta un 20%, constituyendo en este caso un riego por líneas de nivel.

En los terrenos absolutamente llanos u ondulados resultan ventajosos los sistemas de aspersión y goteo, además del ahorro de agua que son significativos comparados con otros sistemas.

En la elección del sistema de riego adecuado se tiene en cuenta las ventajas y desventajas de las distintas alternativas.

Tanto el riego por surco como el riego por manto (que cubre una determinada superficie) tienen un limitante importante e inmediato que es la preparación del terreno en sus correctos niveles. Si el agua es aplicada por surco, ésta debe circular a una velocidad conveniente para evitar los problemas de desborde, insuficiencia de absorción o erosión.

El mal manejo de estos sistemas en lo que respecta a cantidades, velocidades medias, salidas de agua, canalización y nivelación, conducen inevitablemente a los graves problemas de erosión, desde algunas pérdidas del perfil agrícola hasta la formación de cárcavas en las partes desniveladas del lote.

⁵ Alcorque. Hoyo abierto al pie de las plantas para el riego.

El riego por aspersión tiende a sustituir a estos métodos anteriores pudiéndose precisar algunos límites de su aplicación que esbozan sus ventajas y desventajas.

Se considera apropiada la utilización del riego por aspersión respecto al sistema de surcos, alcorques o por Tablas en las siguientes condiciones:

- 1. Cuando los métodos tradicionales no pueden ser aplicados por su limitación básica, es decir las pendientes, las formas del terreno, etcétera.**
- 2. La aspersión es ventajosa en pendientes pronunciadas o irregulares.**
- 3. En suelos poco profundos.**
- 4. En suelos de estructura deficiente.**
- 5. En suelos arenosos con una permeabilidad superior a 30 [cm/h].**
- 6. Cuando se requieren dosis menores de 350 a 400 [m³/hectárea] (en el ciclo).**
- 7. También es perfectamente utilizable en suelos muy planos, con pendientes inferiores al 0.8 por 1,000.**
- 8. Cuando los cultivos son de líneas muy próximas, o muy densos como las praderas.**
- 9. Para cultivos de raíz muy superficial.**
- 10. Para establecer rotaciones bien marcadas de cultivos de regadío.**
- 11. Cuando falta maquinaria especial para una correcta nivelación del suelo para los sistemas anteriores.**

Las limitaciones del riego por aspersión son debidas al volumen, al tipo de agua y al viento.

No siendo recomendables en las siguientes situaciones:

- 1. En riegos de gran volumen, es decir que requieran más de 1,000 [m³/ha] (en el ciclo).**
- 2. Cuando se utilizan aguas de mala calidad como las turbias, salinas o muy frías.**
- 3. En zonas muy ventosas; el viento restringe en gran medida la uniformidad de la distribución.**

En el sistema de riego por aspersión los riegos se hacen por la tarde evitando las altas temperaturas del mediodía que producen grandes evaporaciones de la superficie del terreno. Los riegos por la mañana temprano también tienen sus inconvenientes en los días calurosos, pues puede haber un desequilibrio entre la absorción radicular y la transpiración.

Además, las gotitas de agua fría sobre las hojas calentadas producen en el punto de contacto, por una reacción de los tejidos tiernos, pequeñas manchas que pueden rebajar el aspecto comercial del producto.

Se puede decir definitivamente que el riego por aspersión tiene limitaciones en el tiempo de utilización durante el día.

Los resultados productivos en experiencias de campo demostraron un incremento general en la producción por hectárea, comparativamente con los otros sistemas tradicionales; así por ejemplo, en tomate se elevó la producción en un 25%, un 100% en zanahoria y hasta un 150% en acelga.

Entre otras características ventajosas el riego por aspersión demostró ser eficiente en la protección contra las heladas tardías, amortiguando fácilmente la inversión térmica existente. Respecto a algunas enfermedades y plagas, por ejemplo, han podido ser controladas en el ciclo la "podredumbre apical" y la "arañuela roja" del tomate aunque existe el peligro de la difusión de otras enfermedades criptogámicas⁶.

A continuación se describirán los distintos aspectos del riego por goteo; los datos vertidos en los párrafos anteriores se interrelacionarán desde un punto de vista crítico, estableciéndose las alternativas viables para una elección del sistema de riego; es decir tanto las ventajas y desventajas que deben ser tomadas en su aspecto relativo y evaluadas en las condiciones reales.

El riego por goteo es el sistema de llevar el agua necesaria para los cultivos por medio de tuberías, mangueras, etc., y estas a través de una red diseñada en el terreno, donde el agua llega a la base de la planta por emisores que funcionan como goteros o electroválvulas.

Por medio de este sistema se establece una serie de particularidades que se traducen en un incremento de la producción y en alternativas económicas muy importantes.

La posibilidad de instalación del equipo de riego por goteo requiere de una seria evaluación para su uso racional y para su máxima efectividad. De acuerdo con esto se expondrán las condiciones básicas para su manejo, ellas son:

1. Aplicación del agua en la zona radicular de la planta, en donde se halle un porcentaje de la rizósfera⁷ en una continua saturación de este elemento, es decir que se mantenga potencialmente su capacidad de campo⁸.
2. Los riegos se realizan preferentemente en forma diurna o sea bajo la influencia de la luz solar y consiguientemente con la mayor capacidad fotosintética de la planta.
3. Los riegos son diarios o por lo menos cada dos o tres días, dependiendo de las épocas del cultivo, así como de sus condiciones objetivas.
4. Se aprovecha una fertilización controlada por medio del agua de riego, usándose fertilizantes solubles, generalmente del tipo nitrogenado, que por sus características

⁶ **Criptogámicas.** (Gr. kryptos, escondido + gamos, matrimonio). Planta que pertenece al grupo general de plantas que no forman semillas.

⁷ **Rizósfera.** Bulbo de la raíz.

⁸ **Capacidad de campo.** Se define como el contenido de agua de la porción húmeda del suelo, después de que el exceso ha sido drenado y la velocidad del descenso disminuida en grado considerable, Veihmeyer y Hendrickson (1931).

de solubilidad se asimila rápidamente al complejo coloidal (el fósforo y el potasio son menos (solubles). También se pueden aplicar los micronutrientes necesarios. Los posibles problemas de solubilidad de nutrientes pueden resolverse por fertilización foliar u otro tipo de aplicación.

5. La cantidad de agua utilizada responde al uso real del cultivo.
6. Las raíces desarrollan mediante este sistema una mayor preponderancia superficial, donde se encuentra la mayor capacidad de absorción de este órgano, además de ser la zona más activa biológicamente con las bacterias anaerobias y aerobias, y poseer una gran cantidad de nutrientes fácilmente utilizables y solubles en la planta.

Manteniendo una porción de la región radicular casi en el nivel de saturación o capacidad de campo, como una condición potencial, el trabajo de absorción por parte de las raíces es mínimo puesto que la tensión del agua retenida por el suelo se aproxima a cero.

El principio de solo regar una parte del terreno, aproximadamente un 25 ó 30% se describió según la experiencia de Papadakis en la que la raíz absorbe los nutrientes y el agua necesaria con sólo una parte de sus órganos.

De allí la importancia de los riegos permanentes, generalmente diarios o cada dos o tres días para mantener el perfil del suelo en un estado de casi saturación, pues así se sostiene baja la tensión de saturación del agua, facilitando el trabajo extractivo del cultivo. Además no se producen costras en la superficie del suelo que traen como consecuencia una mala aireación del mismo.

En suelos arenosos una sobredosis de riego acarrea una pérdida natural por drenaje, por su gran capacidad de permeabilidad, siendo además necesario regar con la cantidad establecida diariamente para que la planta la consuma según sus necesidades propias y las condiciones climatológicas. Un exceso de saturación del perfil acarrea problemas de asfixia radicular y el desarrollo de algunos hongos, que en general proliferan en suelos húmedos y con poca cantidad de oxígeno.

La aplicación de fertilizantes puede ser graduada obteniéndose un mayor ahorro y una mayor eficiencia, principalmente de los nitratos que son absorbidos por una parte radicular por el mismo principio citado anteriormente. La localización de los fertilizantes es el método más racional sobre todo con los elementos poco móviles como son el potasio y el fósforo.

Durante el día, en las horas de luz, las plantas realizan su máxima capacidad de síntesis; la fotosíntesis, que transforma la energía luminica en energía química, necesita fundamentalmente del agua para su funcionamiento, por eso es importante el riego diurno ya que es el momento en que mejor se absorbe la cantidad de agua necesaria. Durante la noche decrece la actividad fotosintética, y si el perfil del suelo se encuentra saturado, el agua no utilizada se perderá por infiltración profunda.

Como ya se dijo, la cantidad de agua necesaria para el crecimiento y desarrollo del cultivo permanece constante e independiente en cualquier sistema de riego. El riego por goteo puede utilizarse, si es necesario, continuamente durante todo el día, no sucede lo mismo con el sistema de aspersión que usualmente están limitadas a un tiempo máximo de 14 a 16 horas, por los problemas de insolación en las horas pico y por el viento que aumenta la evaporación y no permite una distribución homogénea.

Con el sistema por goteo es posible un gran ahorro de agua a través del sistema de almacenaje de la red de tubos, es decir en el aspecto de la forma de conducción y manejo.

El almacenamiento de agua es de menor volumen pues se usa entre un 40 y 60% menos que la cantidad utilizada en los sistemas por aspersión.

El ahorro de agua es notorio, en primera instancia, porque la mayor superficie del terreno permanece seca ya que se riegan únicamente las líneas establecidas. Es posible estimar con seguridad que el riego por goteo ahorra más de un tercio del consumo respecto a otros sistemas, siendo el rendimiento por agua gastada el doble comparado, por ejemplo, con la aspersión.

Se asegura además una mejor homogeneidad de distribución y mejor control de las dosis de agua.

En el sistema de riego por aspersión ocurren importantes pérdidas de agua, tal es así que:

- Un 10% se pierde por evaporación antes de llegar al suelo, y**
- Un 20% se evapora de la superficie después de realizado el riego.**

El proceso de **evapotranspiración⁹** disminuye, en este sistema de goteo, la cantidad de evaporación de la superficie del suelo. En Estados Unidos se comprobó que esta pérdida de agua podía reducirse a un 50%, sin embargo se debe tener en cuenta que al haber menos evaporación habrá en la atmósfera una menor presión de vapor, es decir menor humedad, provocando que los estomas de la planta (que trabajan de acuerdo a las diferencias de presión interna estomática y externa atmosférica) trabajen más, produciéndose un aumento de la transpiración, que de alguna manera compensa los ahorros por evaporación de la superficie del suelo.

Al haber menos humedad ambiental la planta se calentará más en sus procesos fisiológicos y requerirá una mayor cantidad de agua para la transformación de materia seca, aquella la eliminará por su función básica de transpiración.

⁹ **Evapotranspiración.** Es la cantidad de agua utilizada por las plantas para realizar sus funciones de transpiración, más el agua que se evapora de la superficie del suelo en el cual se desarrolla.

La mayor producción está garantizada por las dosis correctas de agua y fertilizantes, pues al controlarse la absorción de las mismas se determina un óptimo crecimiento, floración y cuaje de los frutos.

El mayor rendimiento se ha comprobado en una extensa gama de cultivos: frutales, hortícolas¹⁰ y flores.

Las ventajas que presenta en los montes frutales son numerosas; las hortalizas pueden regarse también bajo cubierta plástica e invernaderos; en floricultura cada sección se puede regar independientemente con un ahorro de instalaciones (las flores y las hojas no se humedecen lográndose una mayor calidad).

El incremento de rendimiento por unidad de superficie, así como la obtención de un grado de precocidad de los productos se deben a diversos factores:

1. Correcta dosificación de agua y nutrientes.
2. Anulación de periodos críticos para el cultivo.
3. En el caso de uso de aguas salinas se evitan los problemas de quema de la epidermis de los vegetales, lo que provoca pérdidas de las características de color, presentación y calidad.
4. El riego frecuente garantiza la eficiencia de utilización del agua por el cultivo, manteniéndose una temperatura y una humedad constante (mediante la aspersión en los momentos de riego baja mucho la temperatura y sube la humedad, variando en el transcurso del intervalo).

Por las grandes pérdidas de evaporación que presenta el sistema de aspersión se riegan grandes porciones del predio y con mayores intervalos.

En el uso de aguas salinas el riego por goteo presenta grandes ventajas. En un volumen de agua con una concentración determinada de sales, cuando se produce una evaporación aumenta la cantidad de las mismas, pues sólo se escapa a la atmósfera agua pura. Por ejemplo, si el agua tiene 300 [mg] de cloruro de sodio (CINa) por litro, al evaporarse la mitad de ese volumen la concentración aumentará a 600 [mg/l]. A partir de este principio se deduce que el riego por goteo, por tener menor grado de evaporación, hace que el agua contenga una menor cantidad de sales nocivas, siendo el proceso de salinización del suelo mucho más lento que en el caso del riego por aspersión, de inundación completa o por surco.

El agua se filtra hasta las capas freáticas, las sales se acumulan en los distintos estratos del suelo e inclusive salinizan las aguas subterráneas; en los periodos de sequía el agua asciende por medio de los capilares llevando las sales hacia la superficie. En el riego por goteo, en cambio, al mantenerse constante la humedad del suelo no se permite este ascenso capilar.

¹⁰ Hortícola. Del huerto., de la horticultura: *ciencia hortícola*.

Otra de las ventajas que presenta este sistema es que no es necesario interrumpir las distintas labores culturales que necesita el cultivo, pudiéndose realizar éstas simultáneamente al riego. En el sistema de aspersión existen problemas de encharcamiento del suelo cuando éste es de textura arcillosa, impidiendo el laboreo del terreno inmediatamente después de la irrigación.

Las hierbas que crecen en la zona del cultivo compiten por agua, luz y nutrientes, el control de las mismas es vital para una explotación racional, combatiéndose con herbicidas convencionales. En el sistema de goteo esta malezas sólo se desarrollan en las líneas regadas, lo que facilita su control y disminuye los costos de agroquímicos. El deshierbe y la recolección se pueden realizar al mismo tiempo que se riega.

El ahorro de mano de obra está relacionado a las facilidades y complementación del riego, la fertilización y el deshierbe, reduciéndose principalmente el mantenimiento y control del equipo.

2.3 Síntesis de las ventajas del riego por goteo.

Esquemáticamente y con base en los párrafos anteriores es posible establecer las principales ventajas, en todos los niveles, del riego por goteo, diferenciándolo de los sistemas tradicionales utilizados. Entre estos podemos mencionar:

1. Economización del agua, sólo se humedece parcialmente el predio, localizándose el riego alrededor de la planta. Se reducen a un mínimo las pérdidas de evaporación.
2. Se puede utilizar en todo tipo de suelos en cuanto a textura y topografía. Se usa en los más variados climas y preferentemente en los áridos.
3. No se necesita que el terreno esté nivelado, lo que representa siempre un gasto inicial y una alteración inmediata de la fertilidad del suelo que tarda en recuperarse.
4. No existe interferencia a causa de los vientos, como en el sistema de aspersión.
5. Disminuye el grado de malas hierbas en el terreno debido a la extensa zona seca del predio. Se facilita su control.
6. No se entorpecen las distintas labores culturales (cosecha, aplicación de agroquímicos, etcétera).
7. Ahorro de mano de obra por la facilidad de manejo del equipo; no es necesario mover las instalaciones y las tareas se complementan.
8. Posibilidad de fertilizar simultáneamente con el riego, aumentando la eficiencia de la localización y dosis de los abonos. El nitrógeno puede ser aplicado en pequeñas dosis disminuyéndose las pérdidas.
9. Riego continuo del cultivo durante un tiempo prolongado sin que esto traiga problemas de asfixia radicular.
10. Aprovechamiento de aguas con una relativa cantidad de sales.
11. Posibilidad de uso de equipos de bomba, más pequeños, al trabajar con menores caudales.

12. **Aumento de la producción, la calidad y la precocidad de muchos de los cultivos. Es recomendable en frutales y hortalizas (no se poseen aún resultados valederos en los cultivos de arroz, caña de azúcar y tabaco). Ejemplo: en los cultivos anuales y en frutales son notorios los adelantos posibles en la época de producción garantizando mejores remuneraciones.**
13. **Posibilidad de utilización en terrenos con pendientes del 50% sin problemas de erosión, ya que el sistema funciona cerrado, con pocas cantidades de agua y sin desagüe.**

2.4 Problemas en el sistema de riego por goteo.

Este sistema, como cualquier otro, tiene una serie de problemas, éstos deben evaluarse correcta y comparativamente con todas las alternativas posibles.

Los problemas se describirán, igual que el punto anterior, sin establecer prioridades, simplemente citando las dificultades en los distintos niveles, técnico, biológico y económico.

Los problemas a resolver:

1. **Alto costo de inversiones iniciales, debiéndose evaluar comparativamente. El costo es variable dependiendo de muchos factores: cultivo, condiciones objetivas de producción, extensión, amortizaciones, etcétera.**
2. **Los equipos deben ser de buena calidad en su comportamiento a campo y en el manejo. Deben soportar condiciones ambientales variables pues las tuberías, los goteros y las distintas piezas que lo componen están en la superficie.**
3. **Requieren una vigilancia constante para detectar las irregularidades del funcionamiento.**
4. **Problemas de obturación de las electroválvulas debidos a causas orgánicas, minerales, óxidos de hierro, etc.**
5. **Problemas en la utilización de fertilizantes fosfóricos solubles y el nitrato de calcio, que pueden formar taponamientos en los goteros y en los conductos.**
6. **En la zona permanentemente humedecida pueden proliferar algunas plagas y enfermedades criptogámicas.**
7. **Dificultades en el uso de aguas demasiado turbias, es necesario hacer instalaciones especiales de decantación.**
8. **Para el funcionamiento del sistema debe emplearse un buen complejo de filtrado de agua.**
9. **Es necesario elaborar los proyectos correctamente para que llegue la cantidad necesaria de agua a todo el cultivo, es decir una buena homogeneidad en la distribución.**

10. La proliferación de algas puede entorpecer el manejo. Normalmente son utilizados en el control de las mismas: Simazine (1 ppm), sulfato de cobre (0.5 a 1 ppm) o cloro (2.5 ppm).
11. Disturbios causados por roedores (ratas, conejos, etc.) e insectos que pueden afectar los tubos de polietileno, debiéndose aplicar sustancias repelentes o insecticidas. También pueden enterrarse algunas porciones de las tuberías (a 5 ó 10 [cm] de profundidad) o aumentar el grosor de las mismas.
12. Como la irrigación es localizada, las raíces se concentran en un sólo lugar pudiendo traer problemas de anclaje en la planta. En el caso de los cultivos frutales o de periodo largo es importante seguir el comportamiento, el grado de acumulación de sales y tener en cuenta los distintos niveles de lavado de éstas.



CARACTERIZACIÓN DE LOS TRANSDUCTORES A UTILIZAR

Las especificaciones más relevantes para elegir los transductores están dadas con base en los intervalos requeridos de funcionamiento que deseamos controlar, y estos transductores nos determinaran si es necesario activar encendido/apagado del calentador, ventilador o de las electroválvulas.

Para evitar altos costo en cuanto al número de electroválvulas es conveniente colocar derivaciones a dichas electroválvulas (ver Figura 3.1), donde las características y propiedades del suelo permanecen homogéneas, por lo tanto vemos que con pocas electroválvulas podemos controlar una superficie aceptable y al mismo tiempo reducimos los costos de instalación y mantenimiento del sistema.

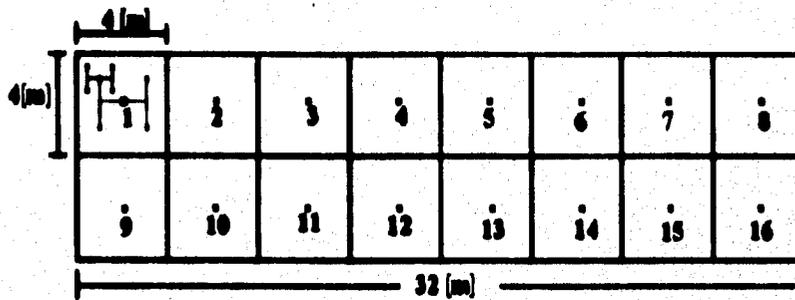
La superficie del invernadero que se pretende determinar será de acuerdo a las condiciones de homogeneidad de la humedad del suelo, y se lo realizará en el lugar donde se implantará el sistema de control de riego por goteo para invernadero, observando la textura del suelo de diferentes coordenadas de la superficie y comparando dichas muestras podemos tener una buena aproximación, este método ya no se utiliza para fines de investigación, pero para fines de planeación de áreas grandes es muy conveniente.

El sistema se basa principalmente en el número de electroválvulas a controlar dividido entre el número de terminales de direccionamiento del sistema, en este caso se multiplexará la salida a 16 terminales. Utilizando 4 terminales del puerto de salida y tres de los 4 terminales restantes se utilizan para la indicación de encendido/apagado del ventilador, calentador y otro que inhibe el multiplexor respectivamente de acuerdo a las condiciones que se presenten dentro del invernadero.

3.1 Características necesarias.

Las características necesarias de los transductores o sensores serán básicamente que tengan una tiempo de respuesta menor de 4 minutos, de preferencia su salida sea lo más lineal

posible para que puedan operar entre 0 °C a 100 °C de temperatura y puede trabajar con una sola fuente de alimentación o una fuente de alimentación dual. El transductor de humedad relativa deberá de operar en un intervalo de 10% a 90% de humedad relativa. Estos dos transductores en lo posible deben de tener buena estabilidad y sensibilidad.



Superficie total a controlar = $8 \cdot 32 = 256 \text{ [m}^2\text{]}$

Total de electroválvulas = 16

Área de control mínima por electroválvula = $16 \text{ [m}^2\text{]}$

Figura 3.1 Localización de electroválvulas.

3.2 Tipos de transductores.

Los transductores a utilizar serán tres que son:

- Transductores de temperatura ambiente,
- Transductor de temperatura interior, y
- Transductor de humedad relativa.

3.2.1 Transductor de temperatura ambiente e interior.

El intervalo de trabajo de la temperatura puede oscilar preferentemente entre los 0 °C a 100 °C, y dependerá de las condiciones atmosféricas de la región donde se llevará a cabo el cultivo. El tiempo de respuesta del transductor de temperatura es de 3 minutos y su comportamiento es lineal, y se utilizarán dos transductores de temperatura uno para indicarnos la temperatura ambiental y el otro nos indicará la temperatura dentro del invernadero.

La temperatura es el más común parámetro físico que es medido y convertido a una forma eléctrica. Ejemplo de transductores de temperatura tenemos: termoacoplador, detector de

temperatura resistivo y termistor, etc. De estos transductores de temperatura solamente mencionaremos las características de cada uno de ellos para información.

a) Termocoplador.

El termocoplador es formado uniendo dos metales diferentes. Un pequeño voltaje, se genera en la unión al calentar. La cantidad de voltaje producido es dependiente de los metales utilizados y es directamente proporcional a la temperatura (coeficiente positivo de temperatura), sin embargo este voltaje es generalmente menor que 100 [mV].

El voltaje vs. características de algunos termocopladores es algunas veces no lineal, pero la cantidad de no linealidad es predecible. Los termocopladores son usados generalmente en industrias porque ellos operan en un intervalo ancho de temperaturas y pueden ser usados para temperatura muy altas.

b) Detectores de temperatura resistivo.

El segundo tipo en importancia de estos transductores de temperatura es el detector de temperatura resistivo. La resistencia cambia directamente con la temperatura (coeficiente positivo de temperatura). El detector de temperatura resistivo es más lineal que el termocoplador.

c) Termistor.

El termistor es el tercer tipo de transductor, el cual es un dispositivo resistivo hecho de un material semiconductor. La resistencia del termistor cambia inversamente con la temperatura (coeficiente negativo de temperatura).

La característica de temperatura del termistor es esencialmente logarítmica. Al igual que el detector de temperatura resistivo, su intervalo de temperatura es más limitado que el termocoplador.

El termistor tiene la ventaja de ser más sensitivo que los anteriores transductores y son muy económicos.

3.2.2 Transductor de humedad relativa.

La característica más importantes de estos transductores de humedad relativa será que operarán en un intervalo de 5 a 100 %.

El transductor de humedad relativa del ambiente debe tener variaciones entre un 10% y un 90% de humedad, ya que valores inferiores al 10% sólo podrían existir en el Sahara y valores superiores al 90% se conseguiría en regiones donde existe precipitaciones pluviales muy altas.

La **humedad** es una medida de la cantidad de vapor de agua presente en un gas, la cual se define como la relación existente entre la presión parcial del vapor de agua o de una mezcla en el ambiente y la presión del vapor de agua requerida para alcanzar la saturación a una temperatura específica, dicha relación se expresa en porcentaje (%).

Existe una variedad de transductores de humedad relativa los cuales los podemos agrupar en cuatro tipos, de acuerdo a la técnica de medición utilizada:

a) **Higrómetro.**

Los higrómetros son transductores que miden la humedad del ambiente con base en un cambio en las dimensiones de un elemento higroscópico¹¹, generando directamente a la salida la lectura del porcentaje de humedad relativa del ambiente.

b) **Sicrómetro.**

El sicrómetro es un dispositivo que permite medir la humedad del aire u otro gas al leer dos termómetros en donde, uno de ellos se coloca directamente al ambiente para registrar su temperatura y el otro colocado al lado se cubre con una tela fina como la muselina, que se mantiene húmeda y se registra la temperatura producida por la evaporación del agua almacenada en la tela al circular el aire o el gas la cual, es menor a la temperatura ambiente.

c) **Medidores de punto de rocío.**

El punto de rocío de una mezcla es la temperatura a la cual el vapor se condensa cuando se enfría (las fases líquida y gaseosa se encuentran en equilibrio) a una presión constante. En este punto existe un único valor de presión para la saturación del vapor, con este valor y el de la temperatura es posible determinar la humedad absoluta o relativa con la ayuda de Tablas de presión de vapor saturado.

¹¹ **Higroscópico.** Que tiene higroscopicidad. Fis. Propiedad de algunos cuerpos inorgánicos y de todos los orgánicos, de absorber la humedad relativa.

d) Medidores de humedad a distancia.

De los medidores de humedad a distancia su principio de operación de este tipo de medidores en la absorción parcial y selectiva de algunas frecuencias del espectro electromagnético en materiales que presentan cierto grado de humedad. De acuerdo a la cantidad de moléculas de agua que contiene un material (humedad), se presenta una atenuación en la señal del transductor.

Las frecuencias utilizadas por estos medidores es muy variada y cubren buena parte del espectro electromagnético, desde radiofrecuencias hasta infrarrojo.

Como la medición de la humedad relativa depende de la temperatura es necesario la medición de este parámetro.

Estos transductores presenta un error debido al fenómeno de histéresis¹³.

3.3 Ventajas y desventajas de los transductores de humedad.

Aquí definiremos en forma general las ventajas y desventajas de cada uno de los cuatro tipos de transductores de humedad.

a) Higrómetro.

Ventajas.

La salida que proporciona el higrómetro es directamente proporcional a la humedad relativa.

Los transductores pueden ser de diferente tipo como ser resistivo, capacitivo, piezoeléctrico o químico.

Su tiempo de respuesta es menor al minuto por lo que se puede emplear en sistemas de control.

Debido a que ofrece una buena exactitud, se utiliza para la medición de humedad relativa en áreas pequeñas y meteorología.

¹³ **Histéresis.** Características de algunos dispositivos cuando dos niveles de señal tienen un adelanto o retardo en la activación de un interruptor.

Desventajas.

Son dependientes de la temperatura por lo que, es necesario la medición de este parámetro.

El buen funcionamiento del transductor depende de su fabricación y las características de absorción del material higroscópico.

Presenta un error debido al fenómeno de histéresis.

b) Sicrómetros.**Ventajas.**

Se puede realizar mediciones en un gran intervalo de temperatura.

Costo reducido.

Su construcción es sencilla, por lo que se puede disponer de unidades portátiles.

Para su medición solamente es necesario cuantificar la temperatura (bulbo seco y bulbo húmedo).

Desventajas.

El transductor tiene que someterse a un mantenimiento continuo, especialmente en el bulbo húmedo para lograr un buen funcionamiento.

Para cuantificar la humedad relativa es necesario utilizar una carta sicrométrica con los dos valores de temperatura.

Se presenta errores debido al manejo inadecuado del transductor por parte del operador.

Para el bulbo húmedo es necesario proporcionar de una adecuada velocidad del aire para obtener una buena lectura, algunos integran un ventilador al instrumento.

c) Medidores de punto de rocío.**Ventajas.**

Debido a los métodos utilizados para obtener la medición es posible emplearlo en procesos de automatización con lo cual, se elimina el error debido al operador.

El transductor presenta buena exactitud.

Su tiempo de respuesta es menor a un minuto.

Puede trabajar con fluidos sometidos a presiones altas o con algún tipo de contaminante abarcando un amplio intervalo de temperatura.

Desventajas.

**No proporciona en forma directa el valor de humedad relativa, es necesario emplear Tablas de presión de vapor saturado y el dato del punto de rocío del fluido.
Es necesario utilizar un termómetro para obtener la lectura de humedad relativa.
Requiere de un elemento transductor o circuito particular para determinar el momento en que se produce el cambio de fase (vapor a líquido) del fluido.
Su costo se incrementa por el uso de enfriadores.**

d) Medidores de humedad a distancia.

Ventajas.

**Se puede incorporar los medidores en la automatización de procesos aprovechando su velocidad de respuesta.
Puede cuantificar la humedad de sólidos y fluidos.
Los instrumentos ofrecen una buena exactitud en la medición.
Como la medición se hace a distancia, es utilizado para cuantificar el contenido de humedad atmosférica con ayuda de satélites.**

Desventajas.

**Se requiere de una fuente de energía de una señal electromagnética de trabajo (radio frecuencia, microondas, infrarroja) y una unidad de detección.
La lectura final debe ajustarse para proporcionar el valor de humedad relativa.
Va acompañado de algunos filtros, amplificadores, y osciladores, para acondicionar la señal electromagnética en el medidor.
Su costo es elevado.**

3.4 Selección de los transductores de temperatura.

El transductor que se determinó utilizar es el LM35DZ, donde la señal de salida es linealmente proporcional a la temperatura en grados centígrados, su tiempo de respuesta de 0% a 100% es 3 minutos, tamaño y costo reducido.

Este termómetro es fabricado por *National Semiconductor*, es un transductor de precisión el cual no necesita de ninguna calibración externa, viene en un empaque TO-92, su salida es de 10 [mV/°C], otras de sus características son:

- Exactitud de 0.5 °C garantizada (a 25 °C)
- Intervalo de 0 °C a +100 °C
- Aplicaciones remotas
- Bajo costo
- Opera en los intervalos de 4 a 30 [V]
- Corriente drenada menor que 60 [µA]
- Bajo auto calentamiento, 0.08 °C en aire tranquilo.
- No lineal solamente de ± 0.25 °C típico
- Baja impedancia de salida, 0.1 por 1 [mA] de carga

3.5 Selección del transductor de humedad relativa.

Con base en las características antes mencionadas podemos determinar cual de los transductores de humedad relativa es la más conveniente para el sistema de control de riego por goteo para invernaderos.

El higrómetro que cumple con estos requisitos es de *tipo capacitivo* fabricado por *Panametrics*, y es uno de los transductores más pequeños que viene en un empaque TO-18, la parte de arriba del transductor está abierta a la atmósfera para la medición de la humedad relativa.

El transductor está protegido con un plástico que previene posibles daños exteriores, aunque físicamente es delicado trabaja en los intervalos de temperatura de -40 °C a +50 °C, donde la temperatura no afecta en la medición de la humedad relativa, por lo que no es necesario implementar un circuito de compensación de temperatura al acondicionador de humedad relativa.

La señal proporcionada a la salida corresponde directamente al porcentaje de humedad relativa, su tiempo de respuesta es de 1 minuto.

Los higrómetros presentan problemas en la exactitud de sus lecturas para valores menores al 10% de humedad relativa, debido principalmente a la dificultad del material higroscópico para desalojar el agua de su superficie, pero lecturas de humedad relativa inferiores a éste solamente encontramos en el desierto del Sahara, por lo tanto no es un problema para el sistema.

El transductor de humedad relativa necesita para su funcionamiento de un oscilador por ser de *tipo capacitivo*. La linealidad es ±1% sobre su intervalo de operación que es de 10% al

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE RIEGO POR GOTEO EN INVERNADEROS

90% de humedad relativa, por lo que no es necesario un algoritmo para corregir las no linealidades que puede presentar la medición.



DISEÑO DE LOS ACONDICIONADORES

Con base al capítulo anterior se optó por utilizar un higrómetro y dos transductores de temperatura de tipo resistivo, este último con las mismas características y el mismo sistema de acondicionamiento. El acondicionamiento de estos transductores los definiremos cada uno por separado.

4.1 Acondicionamiento de la variable de humedad relativa.

Para el acondicionamiento del transductor de humedad relativa es necesario implementar un oscilador estable para operar adecuadamente, este dará un disparo en el borde de bajada al segundo circuito monoestable, que es el que nos determinará un ancho de pulso, el cual será medido y nos representará la humedad relativa.

La Figura 4.1 muestra el diagrama del circuito de acondicionamiento del transductor de humedad relativa y los requerimientos para convertir la capacitancia a ancho de pulso y voltaje.

Para medir el ancho de pulso ó también conocido como *modulación por ancho de pulso* (PWM) es necesario otro temporizador, se utilizó un único integrado ICM7556 de tecnología CMOS que contiene dos temporizadores.

El primer temporizador es utilizado como oscilador, el cual está configurado como *estable*, donde la fórmula para determinar la frecuencia de oscilación del estable es:

$$f = [1.44] / [(R_1 + 2R_2) C_{EXT}]$$

donde

$$R_2 = 2.2 [K\Omega]$$

$$C_{EXT} = 390 [pF]$$

$$R_1 = 22 [K\Omega]$$

sustituyendo estos valores R_1 , R_2 Y C_{EXT} en la fórmula tenemos una frecuencia de

$$f = 100 \text{ [KHz]}$$

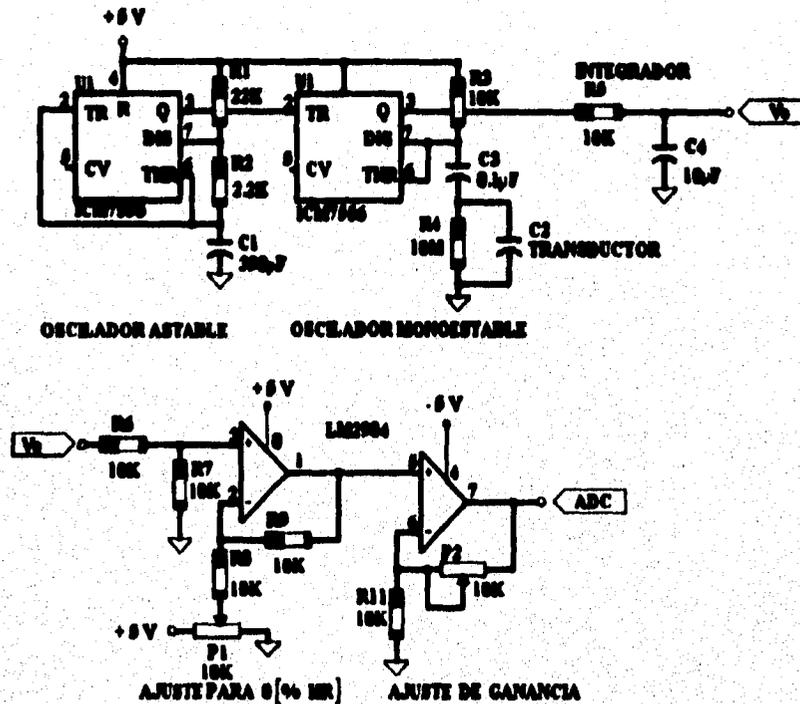


Figura 4.1 Circuito acondicionador de humedad relativa.

Si la frecuencia es mayor a la que fijamos no hay ningún problema, de hecho mejora la lectura porque genera una mayor exactitud en la medición de la humedad, debido a que el oscilador monoestable vuelve a su estado estable y, debido a su alta frecuencia nos permite empezar otro ciclo de medición (estado inestable).

La señal de salida del primer temporizador es conectada al disparador del segundo temporizador, el cual se activa en el borde de bajada y de esta forma es como se activa el segundo temporizador.

En cada borde de bajada del astable se activa el monoestable, el cual genera una onda cuadrada cuya duración es proporcional a la humedad relativa, dependiendo las condiciones de humedad relativa en ese instante de tiempo.

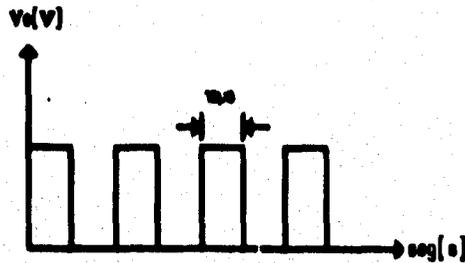


Figura 4.2. Salida del oscilador estable (terminal 5).

El segundo temporizador es configurado como un *multivibrador monoestable* con algunas modificaciones como se puede ver en la Figura 4.1, la salida que se produce es único para cada pulso disparado por el oscilador estable. Cuando un multivibrador monoestable es disparado, esto va temporalmente a un estado inestable, pero vuelve a su estado estable. El tiempo que se mantiene en el estado inestable establece el ancho de pulso de salida, como podemos ver en la Figura 4.3, el cual es determinado por los valores del resistor y el capacitor, donde el valor del resistor es fijo, por tanto solamente varía la capacitancia que es la variable que cambia con respecto a la humedad relativa.

El ancho de pulso es proporcional a la constante de tiempo $R_3 C_{TRANSDUCTOR}$, pero como el primer temporizador tiene una frecuencia mucho más alta con respecto al segundo, entonces la señal de salida de onda cuadrada del monoestable permanece más en el estado alto, y este ancho de pulso podrá ser medido.

El ancho del pulso de salida del multivibrador monoestable es determinado por la siguiente fórmula:

$$t = 1.1 [R_3][C_{TRANSDUCTOR}]$$

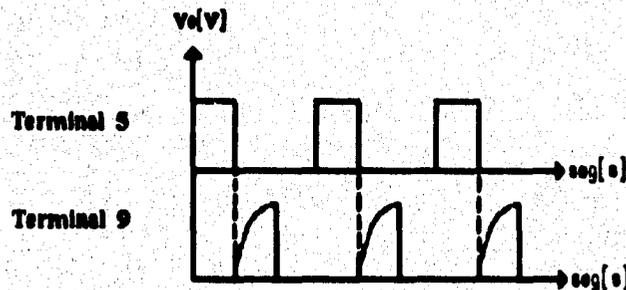


Figura 4.3. Diagramas de tiempos de terminales de salida de los dos temporizadores.

El uso del integrador presenta el problema de generar un retardo en el asentamiento de la señal, el cual debe ser tomado en cuenta para evitar que el voltaje proporcionado al convertidor analógico digital sea incorrecto.

Para asegurar que el voltaje sea el adecuado, se calcula la constante de tiempo del integrador de la Figura 4.1.

$$\tau = R_3 C_4$$

donde τ es la constante de tiempo del integrador, sustituyendo valores tenemos el siguiente resultado.

$$\tau = [10 \text{ k}\Omega] [10 \text{ }\mu\text{F}] = 0.1 \text{ [s]}$$

Si se desea asegurar que el voltaje en el capacitor pueda alcanzar un valor fijo, se considera la condición de cinco constantes de tiempo.

$$5\tau = 0.5 \text{ [s]}$$

Por lo que, es necesario esperar 0.5 segundos para asegurar que el voltaje de salida se estabilice cuando exista un cambio en la humedad relativa.

La señal de salida de onda cuadrada se integra del segundo temporizador, y de esta manera, se consigue una tensión continua, que será proporcional al ancho del pulso y es lo que pretendemos para la medición de la humedad relativa.

La fórmula que se emplea para conseguir un valor aproximado de la tensión con que se carga el condensador C , es la siguiente:

$$V_c = [V_{pp} * t] / T$$

donde V_{pp} es el valor de pico de la onda cuadrada y que será en nuestro caso idéntico a la tensión de alimentación, es decir 5 [V]; $t = 2.07 \text{ }[\mu\text{s}]$ es el tiempo de duración aproximada

de la onda cuadrada proporcionada por el multivibrador monoestable, y T es el tiempo de duración de los impulsos proporcionados por el oscilador astable, que es igual a 10 [µs].

Para ajustar la humedad relativa dentro su intervalo de operación que es de 0 % HR a 100 % HR, se utiliza un amplificador operacional doble LM2904, el primer amplificador es utilizado como restador no-inversor, el cual nos servirá para ajustar al nivel inferior de humedad relativa.

El segundo amplificador no-inversor nos dará la ganancia que deseamos y como podemos observar en la Tabla 3 tenemos una variación de 0.616 [mV] en todo su intervalo de operación, entonces la ganancia proporcionada será de 24.590, para conseguir 15 [mV / % HR], y esta señal será directamente conectada al convertidor analógico digital del microcontrolador, el cual será desplegada en la pantalla de cristal líquido (LCD).

El voltaje de salida del primer amplificador no-inversor que se muestran en la Figura 4.1, viene determinado por la siguiente fórmula:

$$V_{O1} = [R_f / R_i] [V_2 - V_1]$$

donde:

V₁ nos sirve para ajustar el voltaje a un nivel predeterminado;

V₂ es el voltaje del sensor de humedad relativa;

y las resistencias R_f = R_i = 10 [KΩ] nos darán una ganancia unitaria.

El voltaje de salida del segundo amplificador está determinado por la fórmula:

$$V_{O2} = [1 + [(R_f + dR) / R_i]] V_{O1}$$

donde:

$$R_f = 22 [K\Omega]$$

$$dR = 10 [K\Omega] \quad ; \text{ajuste para la ganancia}$$

$$R_i = 1 [K\Omega]$$

sustituyendo estos valores podemos determinar la ganancia requerida, para luego introducirlo al convertidor analógico digital del microcontrolador.

El sistema de calibración que utilizaremos para el transductor de humedad relativa será el método de los dos puntos ó también conocido como solución de sales saturadas.

Las sales que mostramos en la Tabla 1 tienen un nivel determinado de humedad relativa, esto se logrará haciendo la mezcla de alguna de las sales seleccionada con agua destilada, este último compuesto tiene que estar libre de impurezas, esta mezcla nos determinará una solución con un porcentaje de humedad relativa. Es importante que el recipiente en donde se depositará la solución saturada debe de estar sellado herméticamente para evitar fugas de humedad.

Para la calibración del transductor de humedad relativa es necesario introducirlo dentro del recipiente. El transductor tiene que ser colocado en el espacio de aire por encima del nivel del líquido para no producir ningún daño.

El equilibrio se alcanza cuando el líquido y el vapor de agua en el recipiente alcanzan la misma temperatura, entonces se ajusta el porcentaje por medio del potenciómetro P_1 , como explicamos más adelante.

Para una buena calibración es necesario que la solución se deje por lo menos de 3 a 4 horas, y de ser posible 24 horas, por lo tanto la calibración es de mucha paciencia.

Este método es muy exacto y para su aplicación se seleccionan dos soluciones, de preferencia seleccionamos soluciones que estén próximos a los extremos inferior y superior para llegar a tener una buena calibración.

Observando la Tabla 1, seleccionamos las sales apropiada de acuerdo a la existencia del dichos productos en el mercado.

Las soluciones son preparadas mezclando 1/3 de Acetato de Potasio por 2/3 de agua destilada para el nivel inferior y para el nivel superior 1/3 de Cloruro de Potasio por 2/3 de agua destilada. El agua destilada tiene que ser libre de sales o impurezas, Estas dos soluciones se dejan reposando hasta alcanzar el equilibrio térmico, la presencia de cristales sin disolver que se mantienen sin saturarse determinan si la solución está completamente saturada, y es el momento indicado para hacer los ajustes de calibración.

El Acetato de Potasio y el Cloruro de Potasio se encuentran disponibles en el mercado.

La temperatura de la solución y del ambiente deberán estar a 24 °C (75 °F) para asegurar una buena calibración, en la Tabla 2 mostramos factores de corrección contra variaciones en la temperatura ambiente.

SALES	%HR
Bromuro de Litio	6.4
Cloruro de Litio	11.3
Acetato de Potasio	22.7
Cloruro de Magnesio	32.8
Carbonato de Potasio	43.2
Nitrato de Magnesio	53.2
Ioduro de Potasio	69.1
Cloruro de Sodio	75.3
Sulfuro de Amonio	81.1
Cloruro de Potasio	84.3
Nitrato de Potasio	93.8

TABLA 1. Porcentaje de varias soluciones de sales saturadas. (Rev. Popular Electronics; Enero 1994; pag. 66).

TEMPERATURA AMBIENTE	LECTURAS DE CORRECCION DE HUMEDAD RELATIVA						
	GRADOS °F	20%	30%	40%	50%	60%	70%	100%
25	-1.2	-1.7	-2.3	-2.8	-3.4	-4.0	-5.7
35	-1.0	-1.4	-1.8	-2.3	-2.8	-3.2	-4.6
45	-0.8	-1.0	-1.4	-1.7	-2.1	-2.4	-3.5
55	-0.5	-0.7	-0.9	-1.2	-1.4	-1.6	-2.3
65	-0.3	0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-1.2
75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
85	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.9	1.2
95	0.4	0.7	1.0	1.2	1.5	1.7	2.5
105	0.7	1.1	1.5	1.9	2.2	2.6	3.7

TABLA 2. Factores de corrección de humedad contra variaciones en la temperatura ambiente. (Rev. Popular Electronics; Enero 1994; pag. 66).

La solución con Acetato de Potasio tiene una humedad relativa de 22.7% HR, y en el punto de prueba de la Figura 4.1 tenemos un voltaje de 1.019 volts, luego se coloca el transductor en la solución de Cloruro de Potasio que nos determinará el nivel superior de humedad relativa que es de 84.3% HR, y en este punto de prueba tenemos un voltaje de 1.057 volts. Con estos dos puntos podemos determinar la ecuación de la recta voltaje vs. humedad relativa.

Obviamente las lecturas de voltaje son usadas para calcular el porcentaje de humedad relativa. Asumiendo linealidad, nosotros podemos calcular los extremos de 0 % HR y 100 % HR, para poder obtener estos valores, primero se tiene que encontrar la pendiente de la recta de humedad relativa, esto se logra con los dos puntos obtenidos anteriormente, matemáticamente tenemos:

$$m = [Y_2 - Y_1] / [X_2 - X_1] \dots\dots\dots(1)$$

donde el punto superior corresponde a $P_2 (X_2, Y_2)$ y el punto inferior a $P_1 (X_1, Y_1)$, donde X representa al porcentaje de humedad relativa y la Y representa su valor en voltaje, sustituyendo estos valores en la ecuación (1) tenemos:

$$m = [1.057 - 1.019] / [84.3 - 22.7]$$

$$m = 0.616 \text{ [mV / \%HR]}$$

La ecuación de una recta es:

$$Y = m \cdot A + B \text{ [V]} \dots\dots\dots(2)$$

donde:

- Y voltaje [V]
- m pendiente [V / % HR]
- A [% HR]
- B ordenada al origen [V]

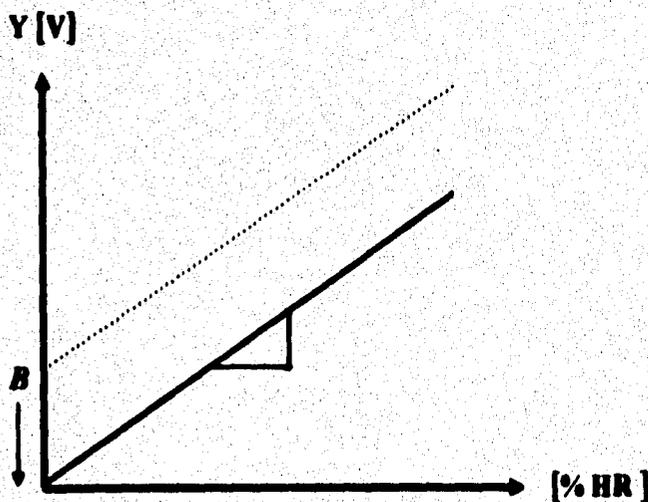


Figura 4.4 Voltaje vs. humedad relativa.

Para colocar en el punto (0,0) es necesario ajustar la salida del LM2904A, para esto utilizamos el potenciómetro P₁ y ajustamos a V₁ = 1.005 [V], con esto hacemos que B = 0 para la ecuación de la recta, una vez realizada esta operación pasamos al segundo ajuste, que es la ganancia del LM2904B la cual se realiza con el potenciómetro P₂, esta ganancia estará en el intervalo de 22 a 32.

Conocida la pendiente se puede sustituir el voltaje para 0 [% HR], con base en la ecuación de la recta

$$\begin{aligned}V \cdot 0 \text{ [\% HR]} &= V_1 - m \cdot HR_1 \\ &= 1.019 \text{ [V]} - .000616 \text{ [V/\%HR]} \cdot 22.7 \text{ [\%HR]} \\ 0 \text{ [\% HR]} &= 1.005 \text{ [V]}\end{aligned}$$

y para 100 [% HR] tenemos

$$\begin{aligned}V \cdot 100 \text{ [\%HR]} &= V_1 + m \cdot HR_1 \\ &= 1.057 \text{ [V]} + .000616 \text{ [V/\%HR]} [100.0 - 84.3] \text{ [\%HR]} \\ 100 \text{ [\%HR]} &= 1.066 \text{ [V]}\end{aligned}$$

Con base en los valores anteriores de 0 % HR y 100% HR podemos conocer el voltaje para cada porcentaje de humedad relativa, utilizando la ecuación (2) se puede determinar para un porcentaje de HR el valor deseado en voltaje, como se muestra en la Tabla 3.

Humedad Relativa	Voltaje
% HR	V
0.0	1.005
10.0	1.011
20.0	1.017
22.7	1.019
30.0	1.023
40.0	1.029
50.0	1.035
60.0	1.041
70.0	1.048
80.0	1.054
84.3	1.057
90.0	1.060
100.0	1.066

TABLA 3. Valores de voltaje vs. humedad relativa.

Estos valores de voltaje se amplificaran a 15 [mV] por cada % HR, esto es con la finalidad de no tener problemas con la resolución del convertidor analógico digital.

4.2 Acondicionamiento de la variable de temperatura.

Para el acondicionamiento de los transductores de temperatura se utilizó una fuente de alimentación de +5 [V], el cual polariza el transductor de temperatura y el amplificador no-inversor. Este amplificador debe tener una ganancia de 1.5, para obtener una salida de 15 [mV/°C] el cual es necesario para que el microcontrolador puede realizar la conversión. (Ver Figura 4.5)

La ganancia del amplificador no-inversor es:

$$A_V = [1 + R_f/R_i]$$

La salida del amplificador no-inversor se conecta directamente al convertidor analógico digital del microcontrolador.

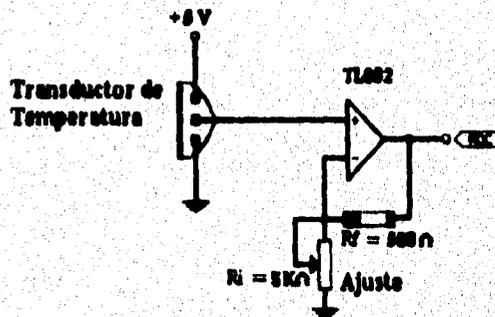


Figura 4.5 Acondicionador del transductor de temperatura.



ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Es muy común que personas que trabajan con microprocesadores o microcontroladores constantemente tiene que hacer improvisaciones a su sistema, nuevos avances sobre microprocesadores, mejores pantallas de cristal líquido, alta capacidad de almacenamiento, de mayor rapidez y más económicos. Sin embargo, desarrollos en el mundo de los microcontroladores son limitados al personal de computación. Uno podrá encontrar avances en el mundo de microcontroladores, como podemos ver en sistemas de control de automóviles, edificios inteligentes, cámaras de vídeo, cámaras fotográficas, horno de microondas y sistemas de sonido, etc.

Hoy en día existe considerable número de microcontroladores que son disponibles en el mercado y su aplicación es variada.

Otro uso de estos microcontroladores es en la educación, y son utilizados como herramientas para aprender acerca de microcontroladores y computadoras en general.

5.1 Selección del microcontrolador.

Para el desarrollo de cualquier sistema partimos por seleccionar el microcontrolador que es el punto más importante, de ello dependerá en hacer una buena decisión, pero para hacer esta decisión partiremos primero evaluando todos los microcontroladores posibles con todas sus características.

Como primer paso es necesario establecer los requerimientos de nuestro sistema, esto es determinar el tamaño de palabra de nuestro microcontrolador que en este caso será de 8 bits ya que es el adecuado para nuestra aplicación, y es necesario especificar el tiempo crítico para cálculos como también los contrastes físicos al sistema.

El segundo paso es identificar la cantidad de puertos de entrada / salida, frecuencia de operación, tipos de comunicación, si cuenta con un convertidor analógico digital, y algún requerimiento especial.

El secreto de este punto es completar el diagrama de flujo de todo el sistema, pero esto no es importante debido a que estamos asignando por adelantado ciertas funciones periféricas al microcontrolador, pero ayuda a identificar los requerimientos del sistema.

El tercer paso es estimar la memoria a utilizarse en nuestro sistema, y es parte vital para la selección. Suficiente RAM nos permite almacenar variables en el sistema de memoria de la pila y algunos arreglos de datos.

"Estimaciones preliminares para variables de almacenamiento en la memoria de la pila son frecuentes, hechas tomando un porcentaje de la ROM estimada, una regla usada por diseñadores es de:

ROM : RAM = 12-20 : 1

Aplicaciones escritas en lenguaje ensamblador tienden a un número bajo, mientras código de compiladores requieren mayor cantidad de memoria." (Rev. IIIE, Spectrum, Noviembre, 1990).

Periféricos comúnmente integrados en un microcontrolador incluyen temporizadores, sistema de comunicación serial o paralela y convertidores analógico digitales. El sistema de temporizadores son utilizados para generar interrupciones periódicas, tiempos de captura de algún evento de entrada y generación de eventos de salida de un tiempo establecido.

Periféricos externos añadidos proveen funciones no usualmente encontradas en un microcontrolador y pueden ser comunicados por el puerto paralelo (dirección, datos y control) o por el puerto serie.

El bus paralelo es conceptualmente simple pero con muchos problemas prácticos debido a la velocidad de interrupciones de sus líneas de datos, esto genera interferencias de radio frecuencias (RFI) y por tanto tenemos un mayor consumo de potencia.

Algunos microcontroladores nos permiten definir si un puerto o una terminal de algún puerto será de entrada / salida, esto es importante si parámetros del sistema son sujetos de cambio antes que el diseño sea completado (como es el caso).

El costo, el sistema de empaquetamiento, el medio ambiente y otras condiciones físicas son contrastes para el diseñador, estos pueden reemplazarse tempranamente e ir directamente al microcontrolador seleccionado. El consumo de potencia y intervalo de temperatura determinan la tecnología a utilizarse para una aplicación.

El modo de seleccionamiento de operación del microcontrolador depende del tamaño de memoria principalmente. El modo expandido usa memoria externa y afecta al costo significativamente del sistema. Memorias dentro los microcontroladores son limitadas por el tamaño como también por su costo con respecto a las memorias externas, esto puede ser ventajoso porque nos puede permitir mover todo el programa y/o datos de memoria y ser reemplazados por microcontroladores más económicos en un futuro. Varios fabricantes ofrecen microcontroladores con poca o nada de memoria por está razón.

La memoria también afecta a otros factores como son el consumo de potencia, otros periféricos y costo, pero hay otros factores obviamente.

Las herramientas de desarrollos deben ser también tomadas en cuenta, por tanto es necesario estudiar las herramientas del microcontrolador seleccionado.

La selección del microcontrolador es arduo por el número de decisiones que se toman, y no hay una lista universal que el diseñador pueda seguir, la experiencia es la segunda herramienta más importante en la selección del microcontrolador.

Definir los requerimientos del sistema, sin una lista, sería una tarea difícil, por tanto empezaremos por definir los requerimientos de nuestro sistema de control de riego por goteo:

1. 256 bytes de RAM es lo que ofrece el microcontrolador y por tanto es suficiente para nuestra aplicación.
2. Un convertidor analógico digital de 8 canales multiplexados, de estos se utilizarán 3 canales, pero los otros canales nos servirán para aplicaciones futuras y será necesario una resolución máxima de 8 bits.
3. Generador de interrupciones periódico.
4. Un Watch-dog timer, este es suministrado por el microcontrolador.
5. Memoria externa de 32K bytes de RAM y 32K bytes de ROM, la memoria RAM podrá ser suprimida una vez terminado el sistema de control de riego por goteo. La memoria ROM estará de acuerdo a los requerimientos del sistema y se determinará una vez concluido el sistema de control de riego por goteo.
6. Bateria de respaldo para RAM. (Es opcional).
7. Manejo de una pantalla de cristal líquido, para el desplegado de información.
8. Contar con un puerto de salida paralelo (8 terminales).
9. Para la carga de programas es necesario contar con un programa monitor contenido en la ROM del microcontrolador y de esta manera podemos cargar programas desde una computadora personal a la memoria del microcontrolador. El microcontrolador deberá de comunicarse por el puerto serie con la PC.

Durante el proceso de selección del microcontrolador la evaluación de las características empieza con una lista de los requerimientos en orden descendente de prioridad como es determinado por la aplicación. Si algún requerimiento no fue mapeado, podrá ser mapeado en este punto, este

mapeo no restringe la selección de un dispositivo en particular o fabricante, pero identificará las características del microcontrolador.

Pueden ser los requerimientos del sistema alterados, si es posible está alternativa, adelante. Varias iteraciones pueden ser posibles en este punto hasta encontrar el circuito o los circuitos.

A continuación describimos en la Tabla 4 a cada microcontrolador de acuerdo a sus características más importantes y la compañía que los vende.

FAMILIA	COMPANIA	µC	MEMORIA	RAM EN BYTES	LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN	DISEÑO N PULGARAS
INTEL	ALLEN SYSTEMS	89C51 0	EEPROM/4K	128/256	CARGA HEX Y 819	1.6 X 2.2
INTEL	BLUE EARTH RESEARCH	89C52	8K	EEPROM	INTERPRETADOR BASIC, CARGA HEX	2.2 X 2.2
INTEL	EE SYSTEMS	D82250T	BATERIA PARA RAM/32K*	256 + 32K**	CARGA HEX	1 X 3.2
INTEL	KOTA SYSTEMS	87C752	EEPROM/8K	24	INTERPRETADOR BASIC	2.5 X 3
INTEL	LS ELECTRONIC SYSTEMS DESIGN	8031	FLASH EPROM/40K	8K	CARGA HEX	3 X 4.3
INTEL	MICROMINT	80C32	EEPROM/32K	32K	INTERPRETADOR BASIC	1.1 X 1.8
MOTOROLA	CON	68HC11E2	EEPROM/2K	256	CARGA 8-19	2.8 X 2
MOTOROLA	LDO	68HC11	EEPROM/512	256	CARGA 8-19	3.1 X 3.6
MOTOROLA	ELECTRONICS	68HC811E2	BYTES, 2K			
MOTOROLA	NEW MICROS	68HC11FN	EEPROM/512	256	INTERPRETADOR FORTH	4.2 X 2.3
		MAXFORTH	BYTES			3.6 X 2.2
						1.5 X 2.5
MOTOROLA	TECHNOLOGICAL ARTS	68HC11E2	EEPROM/2K	256	CARGA 8-19	2 X 2.8
MOTOROLA	WHEATSTONE MICRO SYSTEM	68HC11A1	EEPROM/512	256	CARGA 8-19 Y HEX	2.5 X 6

Tabla 4. Características de los microcontroladores.

Analizando las características de la Tabla 4, se seleccionó el diseñado por Wheatstone Micro System Inc. (WMS11), para el desarrollo del sistema de control de riego por goteo para invernadero, el cual utilizó el microcontrolador 68HC11A1. El WMS11 está diseñado para propósitos generales, y para cargar programas de aplicación en RAM y/o EEPROM. Muchas opciones de hardware son provistas por el sistema.

Las características incluidas en el WMS11 pueden ser consideradas en las siguientes áreas:

- a) Microcontrolador 68HC11A1.
- b) El procesador con memoria externa.
- c) Proceso de encendido y manejador de reset.
- d) Entradas y salidas digitales, incluyen optoacopladores.
- e) Entradas analógicas y acondicionadores de señales.

5.1.1 Comunicación con la PC.

La comunicación puede ser con alguna computadora personal que es provista usando la interface estándar RS232 y normalmente la comunicación serial de transmisión/recepción trabaja a 9600 Baud. Típicamente esta terminal puede ser una IBM-PC y se utiliza el puerto serial para la comunicación.

La comunicación con la terminal puede ser equipada con un software como el Kermit, Procom, o alguna que facilite la transmisión de comandos, carga de programas de aplicación codificadas en ASCII.

El formato de datos suministrados por Wheatstone para comunicación software/firmware usan 8N1 (8 datos, no paridad, una parada), esta comunicación se realiza a 9600 baud rate con full duplex. En algunas circunstancias esta puede ser cambiada por el usuario, otros programas usan otro baud rate o diferente formato de datos, y puede ser acomodado reconfigurando el 68HC11, el registro del BAUD.

La transferencia de datos entre el WMS11 y la terminal, es reducida a tres cables, donde el WMS11 asume que siempre está lista para aceptar una transmisión: si hay errores en la transmisión o problemas son encontrados con el baud rate, se puede bajar. Por conveniencia, el cableado necesario para la PC es presentado en la Figura 5.2.

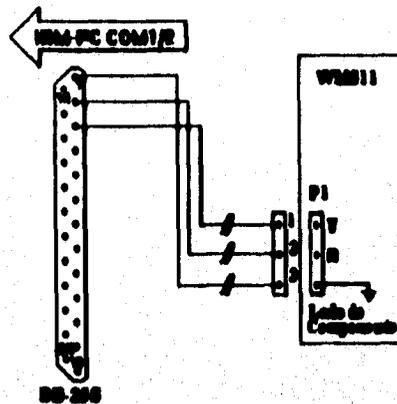


Figura 5.2 Conexiones de WMS11 con la PC.

5.2 Hardware para el manejo de la pantalla de cristal líquido.

El hardware necesario para el manejo de la pantalla de cristal líquido (40 caracteres x 4 líneas) es contar con 3 pines de salida del puerto A con la cual controlamos la pantalla de cristal líquido, y una interfaz de 8 bits para mandar los mensajes.

Los terminales del puerto A (PA5, PA4, y PA3) que son configurados como salida nos sirven para el control de seleccionamiento de señales de la pantalla del cristal líquido y son:

- RS seleccionador de registro,
- E1 señal de habilitación del renglón 1 y 2,
- E2 señal de habilitación del renglón 3 y 4, y
- R/W está conectado a tierra ya que no será necesario leer datos.

La Tabla 5 nos indica la relación de operación.

RS	R/W	E	OPERACION
0	0		Escribe código de instrucción
0	1		Bandera de lectura ocupada y contador de direcciones
1	0		Escribe datos
1	1		Lee datos

Tabla 5. Relación entre la operación y la combinación de RS, E y R/W.

El puerto C nos sirve para mandar los datos que deseamos sean desplegados en la pantalla del cristal líquido, asimismo la conexión existente de cada terminal de los puertos A y C con la pantalla de cristal líquido, en la Figura 5.3^o mostramos el circuito eléctrico implementado para poner en funcionamiento dicho desplegado.

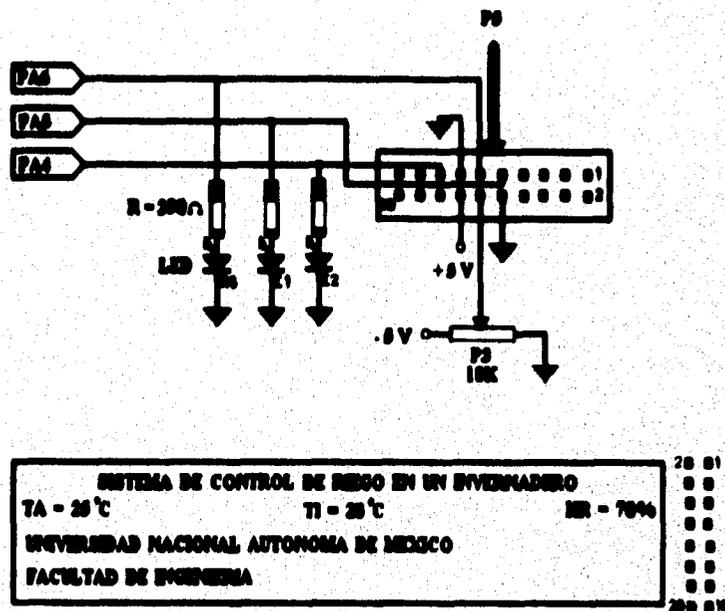


Figura 5.3 Conexiones para el L. C. D..

5.3 Etapa de salida para las electroválvulas, calentador y ventilador.

Para la etapa de manejo de electroválvulas, calentador y ventilador se utiliza el puerto C, el cual es seleccionado como salida de las direcciones \$8200H hasta la \$83FFH, su salida selecciona un dispositivo UIB (74HC139) por medio de los pines CS1, A9 y WR^o que son las entradas, y su salida activará en el filo de bajada el reloj del 74HC574, para luego pasar al demultiplexor MC14067B.

Los cuatro bits menos significativos del 74HC574 son demultiplexados (4 x 16) con el MC14067B, estos bits son para encender ó apagar las electroválvulas, de los otros cuatro terminales más significativos tres son utilizados: calentador (terminal 7), ventilador (terminal 6) y el inhibidor de las salidas (terminal 5) del MC14067B. Todos estos terminales serán optoacoplados para su manejo ya que activarán relevadores, el único que no será optoacoplado es el que inhibe las salidas.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	ELECTROVALVULAS
C	V	I	—	0	0	0	0	0
A	E	N	—	0	0	0	1	1
L	N	H	—	0	0	1	0	2
E	T	I	—	0	0	1	1	3
N	I	B	—	0	1	0	0	4
T	L	E	—	0	1	0	1	5
A	A		—	0	1	1	0	6
D	D	1	—	0	1	1	1	7
O	O	4	—	1	0	0	0	8
R	R	0	—	1	0	0	1	9
		6	—	1	0	1	0	10
		7	—	1	0	1	1	11
		B	—	1	1	0	0	12
			—	1	1	0	1	13
			—	1	1	1	0	14
			—	1	1	1	1	15

Figura 5.4 Designación de terminales del 74HC573.

En la Figura 5.4 mostramos a continuación la designación de terminales de salida del 74HC574 como mencionamos anteriormente, la forma designada es en forma de tabla para una mejor visualización.

La siguiente Figura 5.5 nos muestra el diagrama completo del circuito eléctrico implementado para el manejo de las electroválvulas, calentador y ventilador.

El transistor 2N2222A que es utilizado como interruptor, el cual opera en las regiones de saturación y de corte. Utilizando niveles de voltaje de 0 y +5 [V], para operar el transistor en saturación debe existir suficiente corriente de base de tal manera que

$$I_{C(SAT)} < \beta \cdot I_B$$

Para determinar la corriente de base de la Figura 5.5 tenemos:

$$I_B = [V_{BB} - V_D] / R_B$$

donde:

- V_{BB} = 0 ó +5 [V] voltaje de entrada,
- V_D = 0.7 [V] voltaje del diodo, y
- β = 200 beta del transistor 2N2222A.
- R_B = 5600 [Ω] resistencia de base.

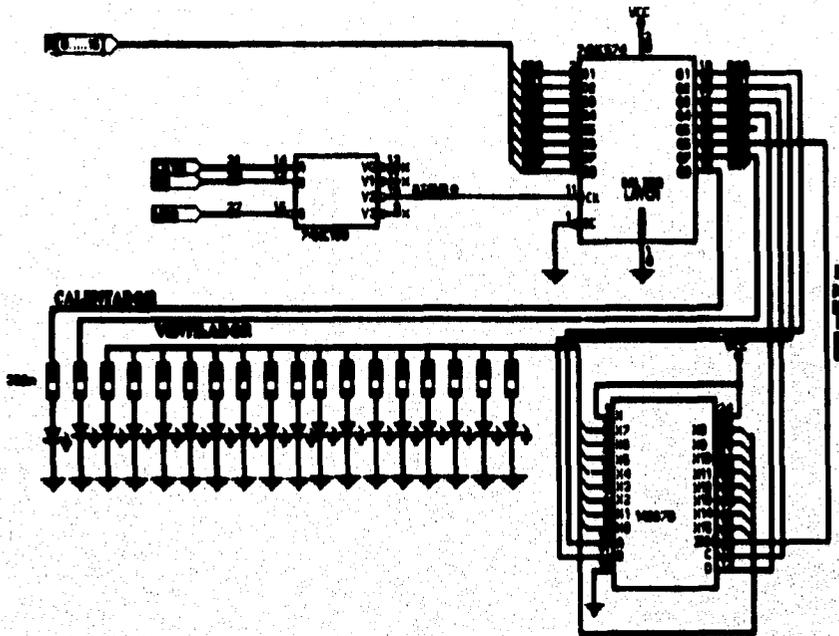


Figura 5.5 Salidas de control de electroválvulas, ventilador y calentador.

sustituyendo valores para $V_{BB} = +5 [V]$ tenemos:

$$I_B = [5 - 0.7] / 5.6$$

$$I_B = 767.85 [\mu A]$$

La corriente de base calculada de la ecuación anterior es correcta en cualquier caso.

Una verificación rápida de la ecuación $I_C = \beta I_B$

$$I_C = (13) (767.85 [\mu A])$$

$$I_C = 9.98205 [mA]$$

la corriente de colector será sustituido en la siguiente ecuación para verificar si esta en saturación:

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C \cdot R_C - V_{LED}$$

donde:

$$V_{CC} = +12 \text{ [V]}$$

$$V_{LED} = 1.8 \text{ [V]}$$

$$R_C = 1000 \text{ [\Omega]}$$

sustituyendo estos valores tenemos:

$$V_{CEQ} = 12 - (9.98205 \text{ [mA]}) (1000 \text{ [\Omega]}) - 1.8$$

$$V_{CEQ} = 0.21 \text{ [V]}$$

al realizar los cálculos de voltaje colector-emisor para asegurarse de la condición acabada de expresar es correcta en el circuito bajo consideración, con este resultado verificamos que la I_C disponible para operación en la región lineal del transistor es excedida, por tanto el transistor está operando en la región de saturación.

El voltaje colector-emisor en saturación es:

$$V_{CEQ(sat)} = 0.2 \text{ [V]}$$

Para mantener el transistor en corte la unión base-emisor debe estar polarizada inversamente.

Ahora sustituyendo valores para $V_{EB} = 0 \text{ [V]}$, tenemos:

$$I_B = [0 - 0.7] / 5.6 \text{ [K}\Omega\text{]}$$

$$I_B = -125 \text{ [\mu V]}$$

con este resultado el transistor se encuentra en la región de corte, y son las dos condiciones que deseamos para poder encender las electroválvulas.

DISÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE RIEGO POR GOTEO EN INVERNADEROS

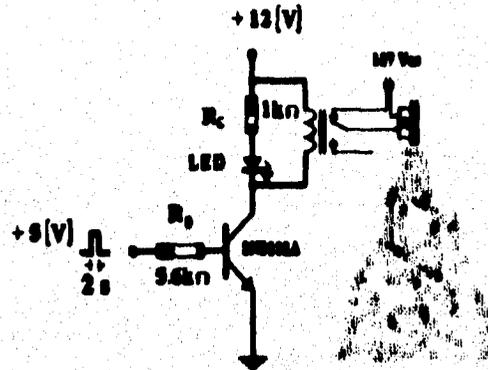


Figura 6.6 Etapa de salida de electroválvulas.

El relevador es un optoacoplador que nos activa o desactiva el funcionamiento de las electroválvulas, y al mismo tiempo protege al sistema contra cortos.



DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

Para el desarrollo del programa del sistema de riego por goteo para invernadero, partimos de un diagrama de flujo. En este diagrama de flujo Figura 6.1 se indica la secuencia de pasos elementales a seguir para la elaboración del programa del sistema de control de riego por goteo. En el apéndice B se especifica con mayor detalle el programa.

Es necesario inicializar los registros del microcontrolador, como también determinar las variables a utilizar en el sistema de control de riego por goteo, sin esto el sistema no puede funcionar. Se desarrolló un programa que inicializa la pantalla de cristal liquido, el cual será la caratula de presentación, la explicación detallada viene más adelante.

El segundo paso a seguir es la adquisición de las variables de medición de temperatura exterior y interior, y humedad relativa, para luego ser desplegados en la pantalla de cristal liquido como también poder ser manipulados por el programa de acuerdo a los requerimientos de control.

Una vez adquiridos las variables de control es necesario establecer niveles de control que nos determinaran una tarea específica o la activación de alguna terminal en particular, que previamente es establecida en el diseño.

Se siguió una metodología de programación del tipo estructurado, tratando de tener subrutinas totalmente definidas o independientes que realizan una tarea específica dentro del programa, por ejemplo, la rutina de inicialización de la pantalla de cristal liquido, de adquisición de datos, de la conversión analógica a digital, etc. El utilizar subrutinas con un alto grado de interdependencia, facilitando la tarea de programación, como también permitirá una interpretación rápida del programa, además que agilizará las tareas de mantenimiento y actualización.

Con base en el diagrama de flujo de la Figura 6.1 podemos dividir en cuatro partes importantes el desarrollo del sistema de control de riego por goteo, y son:

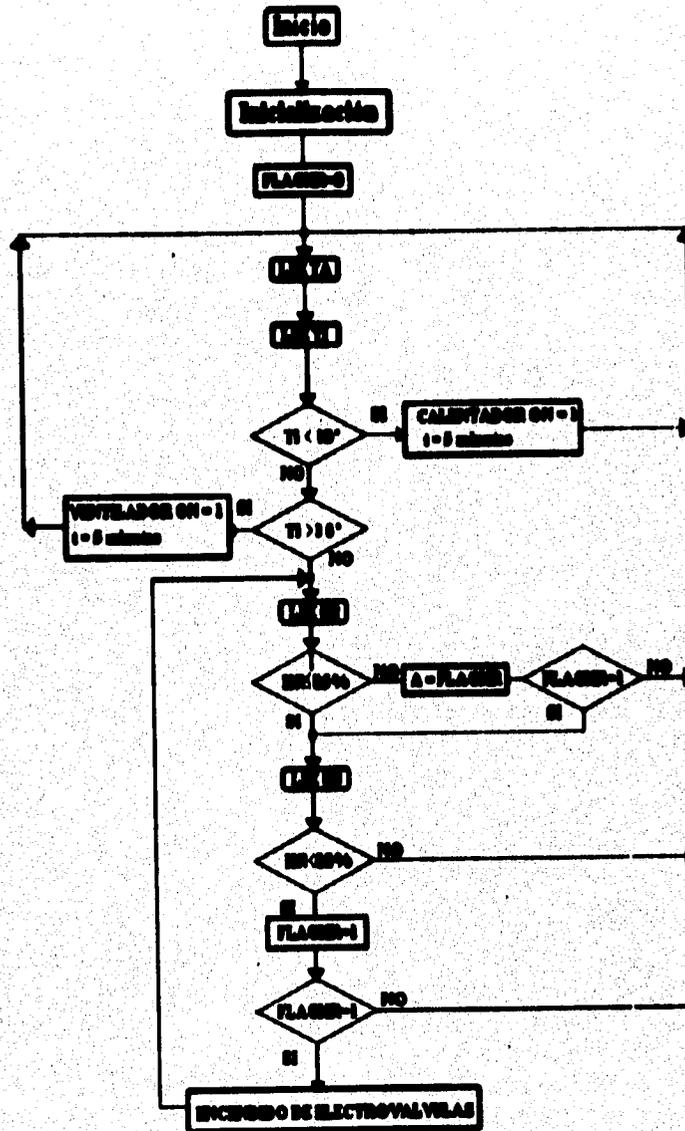


Figura 6.1 Diagrama de flujo del sistema de control de riego por goteo.

- a) Inicialización del microcontrolador.
- b) Programa para inicializar la pantalla de cristal líquido.
- c) Conversión analógica a digital de los transductores.
- d) Programa para activar el funcionamiento de las electroválvulas.

a) Inicialización del microcontrolador.

El sistema para poder llevar a cabo su funcionamiento necesita inicializar los registros del microcontrolador MC68HC11A1, estos registros son conocidos también como registros cabecera. Estos registros se utilizan para poder hacer configuraciones a nuestro sistema, como determinar la velocidad de transmisión, interrupciones, etc.

b) Programa para inicializar la pantalla de cristal líquido.

Las condiciones necesarias para poner a funcionar una pantalla de cristal líquido son cumplir primero con las instrucciones de inicialización establecidas por el fabricante que son mostradas en el diagrama de flujo de la Figura 6.2.

Estas instrucciones de operación que indicamos a continuación nos sirven para poder manipular el funcionamiento de la pantalla de cristal líquido, dichas instrucciones son:

- Limpiar la pantalla de cristal líquido,
- Retorno a la posición inicial,
- Modo de entrada,
- Modo de encendido/apagado de la pantalla de cristal líquido, y
- Movimiento del cursor y/o desplazamiento.

En la Tabla 6 se muestra los códigos de instrucción de los anteriores comandos, con su respectiva descripción.

Una vez establecido el hardware para el manejo de la pantalla, pasamos a la programación de las señales de control. La estructura de diseño que deseamos implementar en la pantalla será de acuerdo con base en los datos que deseamos sean mostrados para su visualización, las variables que serán mostradas son la temperatura ambiental, la temperatura interior y por último la humedad relativa, el resto de la visualización dentro de la pantalla es de acuerdo a nuestro criterio, la pantalla del cristal líquido se exhibirá como mostramos en el siguiente cuadro.

INSTRUCCION	CODIGO										
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	
LIMPIAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
RETORNO	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
MODO	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	
ENTRADA	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	
ON/OFF	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	0	0	
C/D	0	0	0	0	1	DL	N	F	0	0	

I/D = 1: Incrementa +1;

S = 1: Desplazamiento del display.

S/C = 1: Desplazamiento del display

R/L = 1: Desplazamiento a la derecha.

DL = 1: 0 bits

N = 1: 2 líneas

F = 1: 5 x 10 puntos

BF = 1: operación interna.

I/D = 0: Decrementa -1

S/C = 0: se mueve el cursor.

R/L = 0: Desplazamiento a la izquierda.

DL = 0: 4 bits.

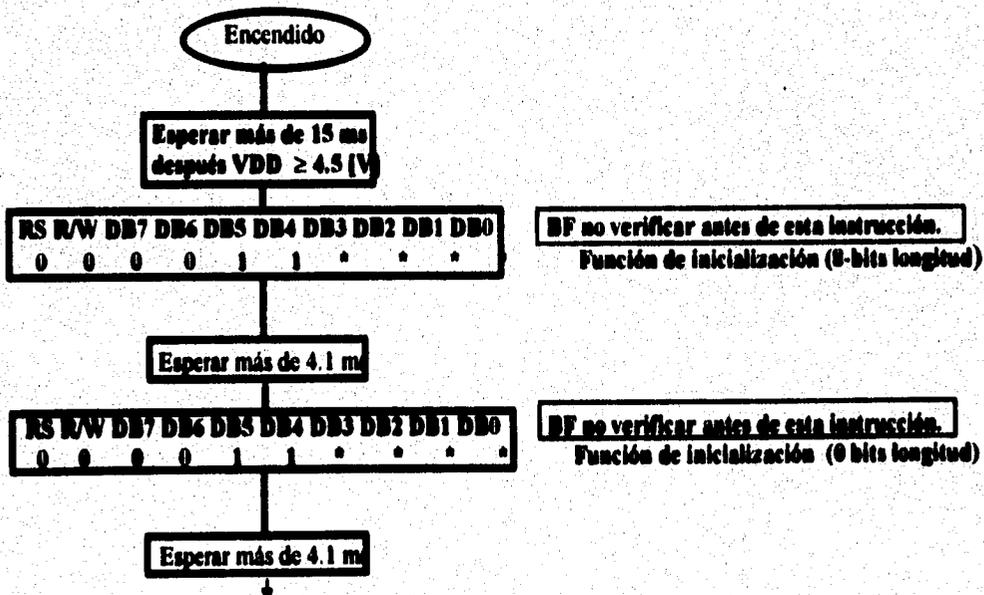
N = 0: 1 línea.

F = 0: 5 x 7 puntos.

BF = 0: Acepta instrucción.

Tabla 6. Instrucciones para su manejo.

EXHIBIDOR ALFANUMERICO DE 4 LINEAS x 40 CARACTERES
SISTEMA DE CONTROL DE UN INVERNADERO
 TA = 25°C TI = 28°C HR = 70%HR
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA



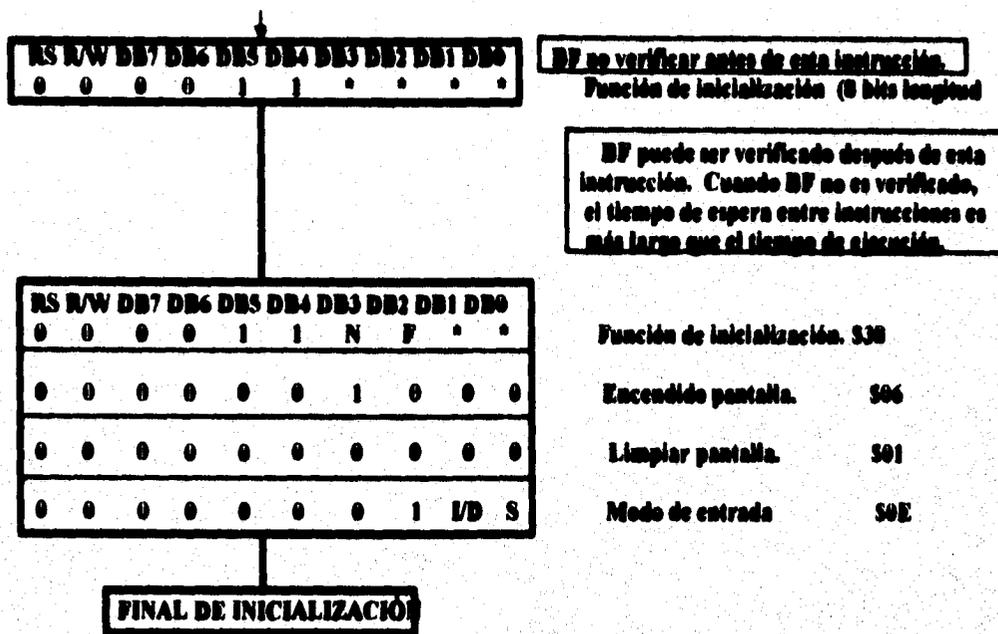


Figura 6.2 Diagrama de flujo para la inicialización de la pantalla de cristal líquido.

El procedimiento para inicializar el exhibidor es el siguiente:

1. Primero se establece el tipo de interfaz a la cual la pantalla de cristal líquido se va a conectar, en nuestro caso, se trata de un microcontrolador con un bus de datos de 8 terminales, el cual se conecta directamente. La palabra de control que se envía a la pantalla es el número 38H, el cual significa lo siguiente:

CODIGO	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
38H	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0

Se envía la palabra de control a la pantalla de cristal líquido donde $RS = 0$, $R/W = 0$ y $E1 = 1$, los terminales $DB5$ y $DB4$ especifican el tamaño del bus, y el terminal $DB3$ el número de líneas del exhibidor. Se espera un lapso de tiempo de $40 [\mu s]$ antes de enviar la siguiente instrucción. Cada instrucción toma un cierto tiempo de ejecución que va de $40 [\mu s]$ a $1.64 [ms]$.

2. Se establece el movimiento del cursor hacia la derecha, la pantalla del exhibidor permanece fija con la entrada de los caracteres.

Esta instrucción toma un tiempo de 40 [μ s].

CODIGO	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
06H	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

3. Se limpia toda la memoria de la pantalla del exhibidor y se regresa la pantalla del exhibidor a su posición inicial.

CODIGO	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
01H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Esta instrucción toma un tiempo de 1.64 [ms].

4. Se enciende la pantalla del exhibidor, se activa el cursor señalando la posición del próximo carácter de entrada y se desactiva el parpadeo.

CODIGO	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0EH	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0

5. Se coloca el cursor en el primer carácter y en la primera línea. Esta instrucción toma un tiempo de 40 [μ s].

CODIGO	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0EH	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0

6. Una vez realizado los anteriores pasos pasamos a enviar los caracteres que se desean exhibir dejando un tiempo entre cada uno de ellos de 40 [μ s] mínimo y con RS = 1.

Las instrucciones en ensamblador para la inicialización de la pantalla de cristal líquido es mostrado a continuación donde las palabras de control son \$38 (función: DL = 1, N = 1, y F = 0, 8 terminales de interface, 2 líneas y 5x 7 puntos), \$0E (encendido de la pantalla y del

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE RIEGO POR GOTEO EN UNVERNADEROS

cursor: D = 1 y C = 1), \$01 (limpia pantalla), y \$06 (modo de entrada: I/D = 1 incrementa cursor +1).

• **FUNCION SET**

JSR PREVIO ; señales de control
LDAA #%00111000 ; (8 terminales, 2 líneas, 5 x 7 puntos) \$30
JSR DEMORA ; retardo
JSR SEÑAL2 ;

• **ENCENDIDO PANTALLA**

JSR PREVIO
LDAA #%00000110 ; \$06
JSR DEMORA
JSR SEÑAL2

• **LIMPIAR DISPLAY**

JSR PREVIO
LDAA #%00000001 ; \$01
JSR DEMORA
JSR SEÑAL2

• **MODO DE ENTRADA**

JSR PREVIO
LDAA #%00001110 ; \$0E
JSR DEMORA
JSR SEÑAL2
END

PREVIO

LDX #REGBAS ; carga el registro indexado X = \$1000
LDAA #S30 ; carga el acumulador con \$30 (%00110000)
STAA PORTA, X ; habilita E1 = E2 = 1
LDX #BASE ; carga X = \$B100
RTS ; retorno al programa principal

DEMORA

PSHX ; almacena en registro indexado X
LDX #S1FFF ; cargar registro indexado X = S1FFF
BK1 DEX ; decrementa el registro X
BNE BK1 ; salta si no es igual a cero
PULX ; restaura el registro X
RTS ; retorno al programa principal

SEÑAL2

STAA OTRO, X ; almacena en el acumulador
LDX #REGBAS ; X = \$1000
LDAA #S00 ; deshabilita E1 = E2 = 0
STAA PORTA, X ; almacena en (X + \$00)
JSR DEMORA ; retardo
RTS ; retorno al programa principal

Estas instrucciones en ensamblador se desarrollo con base al diagrama de flujo de la Figura 6.1, con sus respectivo retardo para que la pantalla de cristal liquido puede operar perfectamente, una vez establecido el número de líneas y los puntos por carácter ya no podrán ser modificados.

c) Conversión analógica a digital de los transductores.

Para la conversión de las señales analógicas a digitales de los transductores de temperatura ambiental, temperatura interior, y la humedad relativa es necesario configurar el registro ADCTL de control y que también es un registro de estado que realizan la conversión dentro del microcontrolador 68HC11.

Los terminales del registro ADCTL pueden ser de escritura y/o de lectura excepto el terminal 7 el cual es de lectura solamente, y es limpiado por reset, todos los demás terminales de este registro no son afectados por el reset. El terminal 6 debe ser cero.

ADCTL(S1030)	CCF	---	SCAN	MULT	CD	CC	CB	CA
RESET:	0	0	U	U	U	U	U	U

El terminal (SCAN = 0) del registro ADCTL, realizará cuatro conversiones, una a la vez, y cuando complete el convertidor analógico/digital coloca la bandera CCF = 1 en el registro ADCTL, y las conversiones son almacenada en los *registros resultado* (ADR1, ADR2, ADR3 y ADR4) en orden secuencial. Para limpiar la bandera del registro ADCTL (CCF) es necesario habilitar nuevamente el registro ADCTL y automáticamente limpiará la bandera CCF = 0.

Como el 68HC11A1 utiliza la opción de utilizar la conversión en modo simple y/o modo multicanal, dependiendo como se selecciona el terminal (MULT) del registro ADCTL.

Si MULT = 0 funcionara en modo simple. Una vez que el canal es utilizado, el resultado es colocado en los cuatro *registros resultado* cuando la conversión es completada.

Si MULT = 1 el convertidor analógico/digital es configurado para ejecutar conversiones en cada canal en un grupo de cuatro canales especificado por el CD y CC que seleccionan. En el modo multicanal, cada canal es asociado con un específico *registro resultado*.

En nuestro caso utilizamos como modo multicanal, y como ejemplo mostramos la configuración de registro ADCTL para la conversión del transductor de temperatura ambiental.

ADCTL(S1030)	CCF	---	SCAN	MULT	CD	CC	CB	CA
S14	0	0	0	1	0	1	0	0

d) Programa para activar el funcionamiento de las electroválvulas.

En esta etapa iniciamos con el funcionamiento de las electroválvulas cuando en el transductor de humedad relativa se determina que descendió por debajo de 50% HR, entonces se inicia la activación de las electroválvulas una por una, por medio de un contador desde 0 a 15, el tiempo de duración del encendido de cada electroválvula es de 2 segundos, este tiempo puede ser variable de acuerdo a los requerimientos de la(s) planta(s), esto es para el suministro de agua. El puerto C nos sirve para direccionar a las electroválvulas como podemos ver en la Figura 5.5.

Cuando se completa el ciclo de las 16 electroválvulas, se modificará el nivel de humedad relativa del ambiente, por tanto es necesario volver al inicio del programa, como podemos observar en la Figura 6.1, para poder determinar nuevamente los valores de los transductores de temperatura ambiental, temperatura interior y de humedad relativa, y si los niveles de humedad relativa están por debajo de los establecido nuevamente se encenderan las electroválvulas hasta que el nivel de humedad relativa sobrepasa el nivel requerido, que en este caso será de 80% HR.



PRUEBAS Y MEDICIONES

En este capítulo se determinará que tan real es el comportamiento de nuestro sistema de control de riego por goteo; estas pruebas y mediciones que realizamos establecen los parámetros necesarios para poder establecer el encendido de las electroválvulas, como también el caudal que será proporcionado por nuestro sistema automático, estas pruebas podemos dividirlo en dos partes:

- Pruebas de laboratorio, y
- Pruebas de campo.

7.1 Pruebas de laboratorio.

Estas pruebas son para determinar el caudal de agua que será proporcionado a la(s) planta(s), esta variable es importante en nuestro sistema de control de riego por goteo, ya que es un elemento vital para el buen desarrollo de la(s) planta(s), por tanto es necesario estimar el caudal necesario para el suministro de cada electroválvula.

El tiempo de encendido de la electroválvula se determinará de acuerdo a la necesidad de caudal que pueda requerir la planta, esto dependerá del cultivo que se lleve a cabo.

El gasto de salida se determina por la fórmula:

$$Q_{\text{sal}} = A \cdot h / t$$

donde:

- Q_{sal} representa al caudal [m^3/seg]
 A representa al área de la sección transversal de la electroválvula [m^2]
 h representa a la altura del tanque [m]

En la Figura 7.1 se muestra un dibujo del sistema de control de riego por goteo.

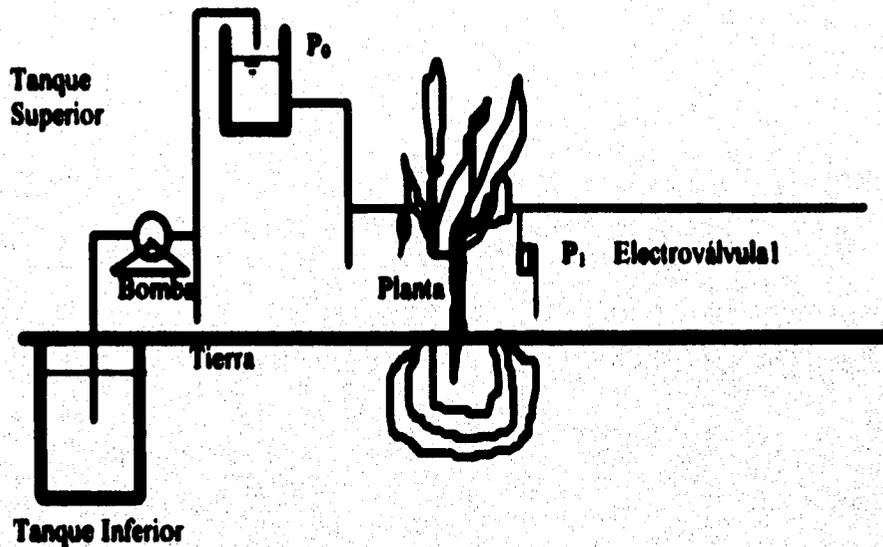


Figura 7.1 Dibujo del sistema de riego por goteo.

El diámetro de salida de la electroválvula es un dato conocido,

$$D = 0.250 \text{ [pulg]} = 0.635 \text{ [cm]}$$

$$r = D/2 = 0.635/2 = 0.3175 \text{ [cm]}$$

A partir del diámetro o radio se obtiene el área de la sección transversal de salida de la electroválvula que es un valor constante.

$$A_d = \pi r^2 = (3.14)(0.3175)^2$$

$$A_d = 0.3165 \text{ [cm}^2\text{]}$$

La Figura 7.2 nos servirá para determinar el modelo matemático.

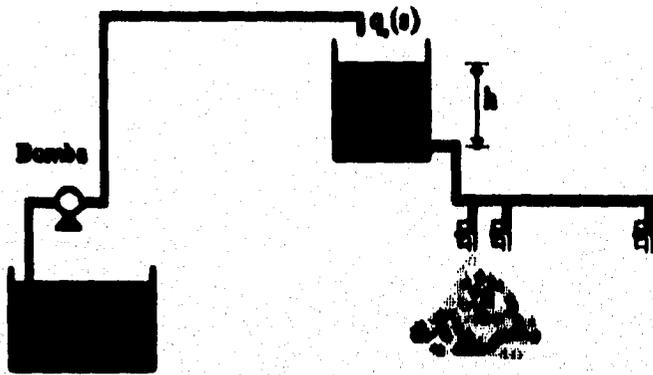


Figura 7.2 Sistema de distribución de riego.

Para determinar la ecuación diferencial del modelo matemático partiremos de las siguientes leyes, pero solamente determinamos para la salida del tanque superior:

Leyes de elementos, estas ecuaciones de los elementos para el sistema considerado son:

$$q_i R_H = P_i - P_0 \dots\dots\dots(1)$$

$$dP_i / dt = q_{NET} / C_H \dots\dots\dots(2)$$

Leyes de conjunto, las ecuaciones de equilibrio son:

$$dv / dt = \sum q_e - \sum q_s \dots\dots\dots(3)$$

$$\sum q_s = q(t) \dots\dots\dots(4)$$

$$\sum q_s = q_i \dots\dots\dots(5)$$

$$q_{NET} = \sum q_e - \sum q_s \dots\dots\dots(6)$$

Por otra parte haciendo la suma de presiones se tiene:

$$P_i - P_0 - P_h = 0 \dots\dots\dots(7)$$

$$P_h = \rho g h \dots\dots\dots(8)$$

donde:

- ρ es la densidad del fluido [kg/m³]
- g es la aceleración de la gravedad [m/s²]
- h es la altura [m]

Para obtener el modelo matemático en función de la altura, se tiene

$$q_1 = (P_1 - P_0) / R_H \dots\dots\dots(9)$$

$$P_1 - P_0 = \rho g h \dots\dots\dots(10)$$

sustituyendo la ecuación (10) en la (9):

$$q_1 = \rho g h / R_H \dots\dots\dots(11)$$

$$q_1 = \gamma h / R_H \dots\dots\dots(12)$$

donde:

γ es el peso específico del fluido

sustituyendo la ecuación (12) en la (5):

$$\Sigma q_1 = \gamma h / R_H \dots\dots\dots(13)$$

y recordando que $V = A h$ se obtiene:

$$dv / dt = A dh / dt \dots\dots\dots(14)$$

$$A dh / dt + \gamma h / R_H = q(t) \dots\dots\dots(15)$$

normalizando:

$$dh / dt + \gamma h / A R_H = q(t) / A \dots\dots\dots(16)$$

En la siguiente Tabla 7 se observa la relación que existe entre el tiempo y el caudal que se suministrará a la planta, para esto se realizó una serie de pruebas para determinar el caudal con base a un tiempo predeterminado, se tomaron mediciones del tiempo y caudal las cuales servirán para relacionar por medio de una fórmula.

Para las pruebas de medición se utilizó un cronómetro y un vaso precipitado con medidas marcada en milímetros y determine el caudal como indicamos en la Tabla 7.

t [s]	Q [ml/s]
0	0
1	100
2	200
3	300
4	400
5	500
6	600

Tabla 7. Relación tiempo vs. caudal.

Estos datos podran tener una variación hasta de $(Q \pm 50)$, la relación entre el caudal y el tiempo es proporcional por lo tanto podemos obtener la siguiente fórmula:

$$V = 100 \text{ [ml/s]} \cdot t \text{ [s]}$$

en 2.0 segundos se suministrará 200 [ml], este puede ser modificado de acuerdo al tipo de cultivo debido principalmente a que los cultivos no tienen las mismas características de consumo de agua, también dependerá de las condiciones ambientales, del suelo, de la experiencia, etc.

7.2 Pruebas de campo.

Las pruebas de campo son importantes ya que nos determinan el caudal necesario, por tanto es importante conocer las condiciones climatológicas de la región donde se instalará el sistema de control de riego por goteo, como también las características del suelo, y de la calidad del agua que se utilizará para el riego.

Para las características del suelo es necesario realizar estudios de la textura y de la composición, como también conocer la composición química del agua.

Con base a los estudios de las características antes mencionadas y a la opinión del experto podemos estimar el volumen del suministro de agua que es necesario para el buen desarrollo del cultivo.

Una vez conocido el volumen de agua/plantas/mes, se procede a la distribución de las misma en los días del mes.

"Lo que siempre debe evitarse, sea cual fuere el tipo de riego, son: los encharcamientos, ya que en un plazo más o menos largo acaban con la vida de la planta". (M. Amoros Castañer, p. 48).

De acuerdo al tipo de cultivo que se lleva a cabo podemos informarnos de tablas, el consumo promedio de agua al mes de algún cultivo en particular, para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, contando con estos datos podemos programar el sistema de control de riego por goteo, y de esta manera establecer el tiempo que será necesario activar o encender las electroválvulas para proporcionar el caudal necesario a la(s) planta(s).

Pero es muy difícil estimar los promedios de agua por planta, debido principalmente a las condiciones que se puedan presentar en la región de producción, estas condiciones que afectan son las ambientales como ser ventarrones, temperaturas extremas, etc..

"Debe intentarse aportar a la planta siempre los mismos volúmenes de agua, aunque sea reduciendo el número de riegos a la semana, ya que de este modo ni aumentamos ni disminuimos el bulbo de humedad". (M. Amoros Castañer, p. 53)

Los datos de usos consuntivos¹³ presentados, podrán ser útiles, dentro de sus limitaciones, para aquellos trabajos que los requieran en las regiones correspondientes, mientras no se cuente con determinaciones directas del consumo de agua para los diferentes cultivos, hechas en el campo, mediante experimentos debidamente planeados y conducidos.

Sin embargo, los valores ahora calculados, constituyen una aproximación útil, mientras no se disponga de información más directa y de mayor confianza.

Para el cálculo del uso consuntivo mensual, se utiliza la siguiente fórmula:

$$U.C._m = t * K_1 = [(p * t) / 100] * K_1 \text{ [cm de lámina/mes]}$$

donde:

- t temperatura media del mes en °F,
 p porcentaje de las horas luz con respecto a las del año.
 K₁ coeficiente de corrección de J. T. Phelan, K₁ = .0173 * t - .311

¹³ Usos consuntivos. Está formado por la evapotranspiración más el agua que utilizan las plantas en la formación de sus tejidos durante todo el ciclo vegetativo de los cultivos, uno por ciento del agua total utilizada aproximadamente.

Conviene recordar que los usos consuntivos obtenidos por este proceso sólo son una estimación de la evapotranspiración, basada en datos climatológicos exclusivamente y que, por tanto, sólo deben utilizarse como una orientación sobre las necesidades de agua de los cultivos, a pesar de las afinaciones que se han hecho en la nueva metodología, para tener en cuenta el grado de desarrollo de la planta en cada período de sus ciclo vegetativo.

Actualmente existen métodos diversos que en algunos países se están usando ya con preferencia al de Blaney y Criddle y en los que en general se toma como base la evaporación en tanque. Sin embargo, para obtener la evapotranspiración se requiere el uso de coeficientes de cosecha que son específicos para cada localidad y que no se han determinado para las regiones agrícolas en México, y en algunos de los métodos se emplean datos sobre otros factores del medio de que no es fácil disponer en nuestras zonas de riego.

Por esta razón se ha preferido usar el método de Blaney y Criddle en su metodología más moderna, habida cuenta de que lo que interesa es tener una orientación sobre el posible uso de agua por las plantas cuando no se cuenta con determinaciones directas experimentales.

Distrito de riego de Rio Colorado, B. C.

Añaha

Ciclo vegetativo: Todo el año.

Meses	Uso consuntivo (cm)	
	Mensual	Acumulad o
Enero	2.9	2.9
Febrero	4.3	7.2
Marzo	7.3	14.5
Abril	11.6	26.1
Mayo	16.2	42.3
Junio	22.1	64.4
Julio	25.9	90.3
Agosto	23.1	113.4
Septiembre	16.7	130.1
Octubre	11.0	141.1
Noviembre	5.4	146.5
Diciembre	3.2	149.7
Total	149.7	149.7

Coefficiente K global calculado: 0.993

Algodón

Ciclo vegetativo medio: 15 abril a 30 octubre.

Meses	Uso consuntivo [cm]	
	Mensual	Acumulad o
Abril	11.6	26.1
Mayo	16.2	42.3
Junio	22.1	64.4
Julio	25.9	90.3
Agosto	23.1	113.4
Septiembre	16.7	130.1
Octubre	11.0	141.1
Total	149.7	149.7

Coefficiente K global calculado: 0.805

Distrito de riego de Guasave, Sln.

Jitomate

Ciclo vegetativo medio: 20 de noviembre a 15 de abril.

Meses	Uso consuntivo [cm]	
	Mensual	Acumulad o
Noviembre	2.1	2.1
Diciembre	5.3	7.4
Enero	7.4	14.8
Febrero	11.1	25.9
Marzo	11.9	37.8
Abril	6.6	44.4
Total	44.4	44.4

Coefficiente K global calculado: 0.617

Maíz temprano

Ciclo vegetativo medio: 30 de noviembre a 15 de abril.

Meses	Uso consuntivo [cm]	
	Mensual	Acumulado
		0
Diciembre	5.7	5.7
Enero	7.8	13.5
Febrero	10.9	24.4
Marzo	12.5	36.9
Abril	7.3	44.2
Total	44.2	44.2

Coefficiente K global calculado: 0.727

Distrita de riego de Valle del Fuerte, Sln.

Jitomate temprano

Ciclo vegetativo medio: 15 de noviembre a 31 de marzo.

Meses	Uso consuntivo [cm]	
	Mensual	Acumulado
		0
Noviembre	3.1	3.1
Diciembre	5.6	8.7
Enero	9.5	18.2
Febrero	10.6	28.8
Marzo	11.9	40.7
Total	40.7	40.7

Coefficiente K global calculado: 0.632

Jitomate primavera

Ciclo vegetativo medio: 28 de febrero a 31 de mayo.

Meses	Uso consuntivo cm	
	Mensual	Acumulad o
Marzo	5.4	5.4
Abril	13.8	19.2
Mayo	15.9	35.1
Total	35.1	35.1

Coefficiente K global calculado: 0.771

Jitomate verano

Ciclo vegetativo medio: 15 de julio a 15 de febrero.

Meses	Uso consuntivo cm	
	Mensual	Acumulad o
Julio	5.9	5.9
Agosto	11.0	16.9
Septiembre	11.9	28.8
Octubre	14.9	43.7
Noviembre	12.7	56.4
Diciembre	10.0	66.4
Enero	8.2	74.6
Febrero	3.7	78.3
Total	78.3	78.3

Coefficiente K global calculado: 0.717



CONCLUSIONES

Con base a las pruebas de laboratorio y de campo que se realizaron podemos concluir que el sistema de control de riego por goteo en invernaderos es un sistema que cumple con los objetivos propuestos al inicio del desarrollo, los cuales son:

1. Disminución de la pérdida de agua por evaporación en comparación con los otros sistemas de riego: alcorques, surcos y aspersión. Mejoramiento de la presentación del producto, ya que la cantidad de agua utilizada responde al uso real del cultivo.
2. Por el sistema de riego por goteo se puede suministrar nutrientes *solubles* en agua que sean requeridos por las plantas, también llamado *fertirrigación o fertigración*¹⁴, reduciendo en gran medida el costo y el tiempo de suministro; en costo debido a que estos nutrientes solamente serán depositados en un área de riego determinada o bulbo y no así en toda la extensión del terreno, y en tiempo porque no será necesario emplear mano de obra para suministrar los nutrientes. La aplicación de fertilizantes puede ser graduada obteniéndose un mayor ahorro, y la localización de los fertilizantes es el método más racional sobre todo con los elementos poco móviles como son el potasio y el fósforo.
3. Por *herbigración*¹⁵ se evita en gran medida la proliferación de hierbas, ya que además de consumir agua y abonos, suelen ser refugio de insectos que perjudican a la plantación.
4. Las limitaciones que se presentaron fueron principalmente no poder comprobar en su totalidad todo el sistema de control debido al costo de instalación, las mediciones de campo por tanto no son muy representativas en cuanto a consumo de agua.
5. En el sistema de riego por goteo no es necesario utilizar altas presiones para la distribución de agua, por tanto con una bomba de ¼ HP es más que suficiente.

¹⁴ Fertirrigación o fertigración. Alimentar a la planta con la adición de nutrientes, directamente o previa disolución por medio del agua de riego.

¹⁵ Herbigración. Eliminar las malas hierbas por mediación de herbicidas, utilizando como vehículo el agua de riego.

6. El transductor de humedad de suelo no fue probado dentro la superficie a controlar debido al limitante de contar con un solo transductor, y por posibles deterioros de corrosión que pueda sufrir dicho transductor, por tanto las mediciones tomadas para la simulación son de la humedad ambiental.

7. Es necesario implementar varios transductores de temperatura y humedad en distintos lugares del invernadero, con estos datos podemos determinar los valores promedios de cada variable sujeta a medición, estos valores serán procesados en el microcontrolador para determinar si es necesario activar o desactivar el calentador, el ventilador o las electroválvulas, con esto se logra tener un sistema de control más homogéneo en todo el invernadero.

8. Las aplicaciones futuras que pueden ser implementadas tomando el mismo principio de operación son: incubadoras para bebés, incubadoras de huevos, acondicionadores de ambientes, etc.

ESTA TESTS NO DEBE
OLAR DE LA BIBLIOTECA

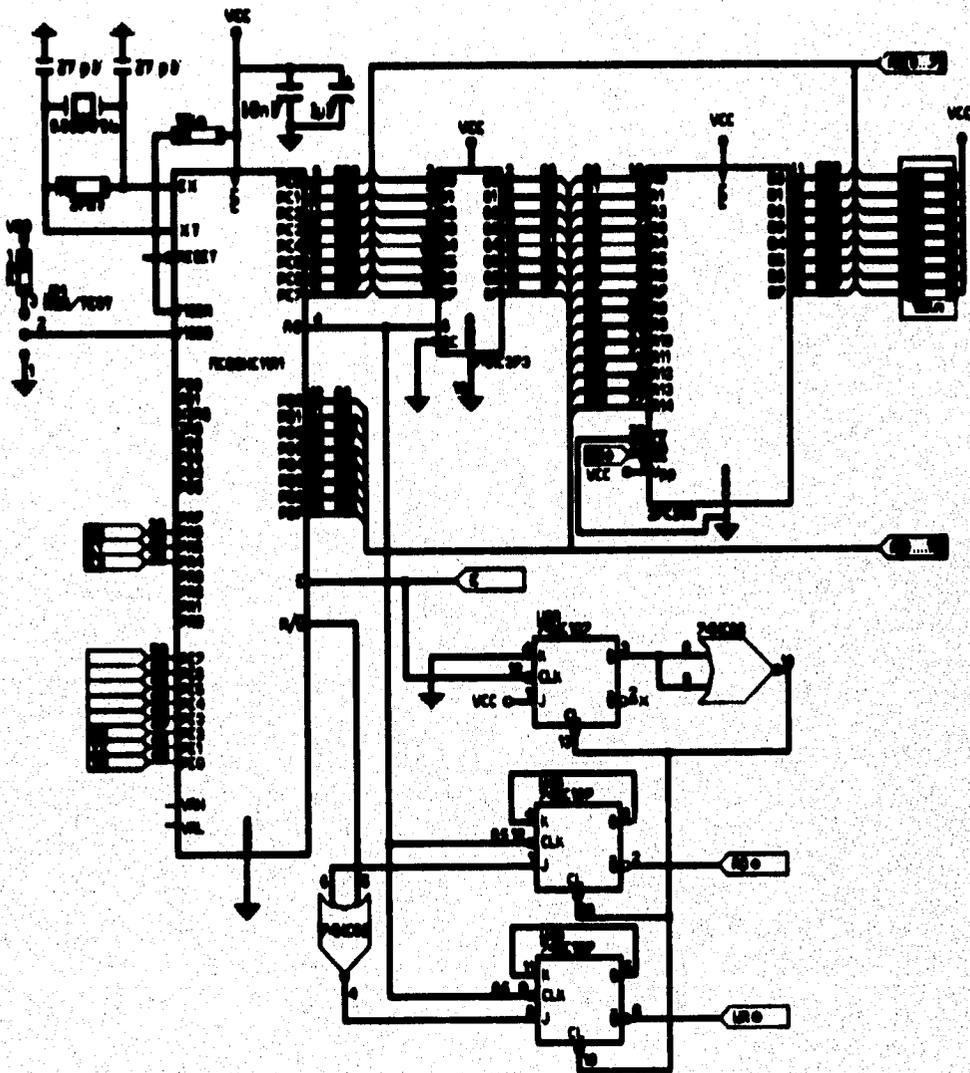
BIBLIOGRAFIA

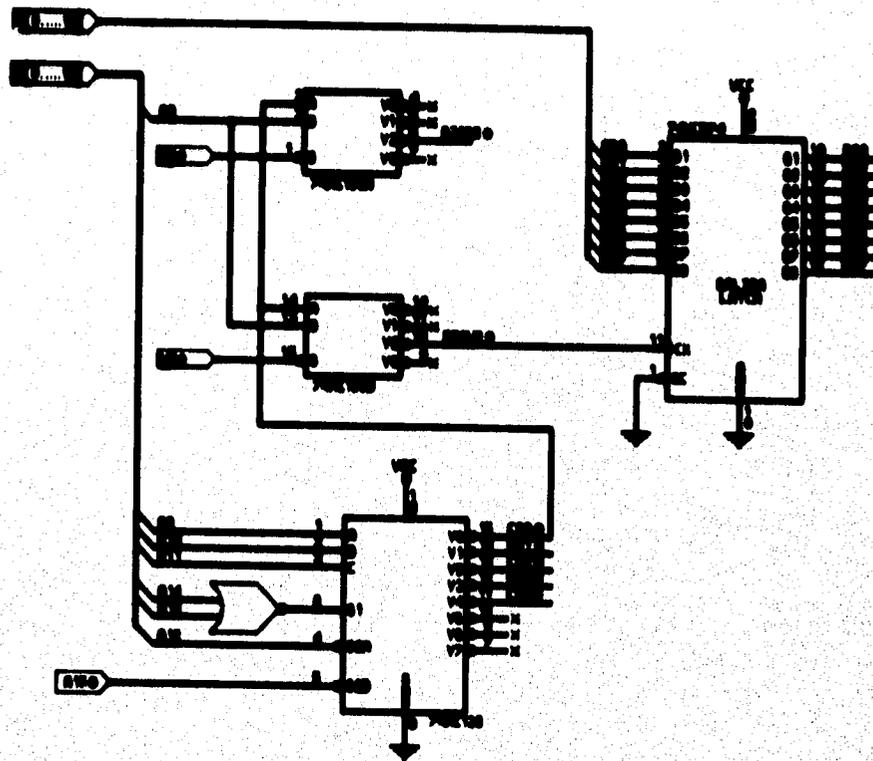
- 1 **AMOROS CASTAÑER, Manuel:** [1991], "*Riego por goteo en circuitos*", Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- 2 **BACHIOCHI, Jeff:** [1995], "*Vaporwear: Revealing Your Humidity*", Holmes, PA, Circuit Cellar Ink., April, No. 57, pp. 92-96.
- 3 **BOYLESTAD, Robert y NASHELKY, Louis:** [1987], "*Electrónica teoría de circuitos*", trad. Franco G., Carlos A., 3a. De., Prentice Hall Hispanoamericana, México.
- 4 **CARISTI, Anthony J.:** [1994], "*Build a Relative Humidity Gauge*", Mount Morris, IL, Popular Electronics, January, Vol. 11, No. 1, pp. 62-66.
- 5 **COUGHLIN, Robert F. y DRISCOLL, Frederick F.:** [1987], "*Circuitos integrados lineales y amplificadores operacionales*", trad. Fournier Gonzales, Julio, 2a. ed., Prentice Hall, México.
- 6 **FLOYD, Thomas L.:** [1994], "*Basic operational amplifiers and linear integrated circuits*", Merrill, New York.
- 7 **AGUILERA, Mauricio y MARTINEZ, Rene:** [1990], "*Relación agua, suelo, planta y atmósfera*", 4a. de., Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo.
- 8 **MOTOROLA:** [1991], "*M68HC11 Reference Manual*", U.S.A..
- 9 **MOTOROLA:** [1992], "*M68HC05 MICROCONTROLLER APPLICATIONS GUIDE*", U.S.A..
- 10 **MOTOROLA:** [1991], "*CMOS Logic Data*", U.S.A..
- 11 **NUEVA ELECTRONICA:** [1992], "*Un medidor de humedad*", Junio, No. 102, Madrid, pp. 4-16.
- 12 **RODRIGUEZ, Francisco:** [1980], "*Dinámica de sistemas físicos*", Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 13 **RODRIGUEZ S. Florencio:** [1992], "*Riego por goteo*", AGT Editor, México.
- 14 **SPASOV, Peter:** [1993], "*Microcontroller technology the 68HC11*", Prentice Hall, New Jersey.

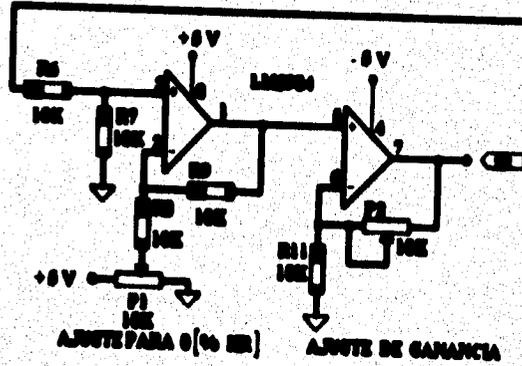
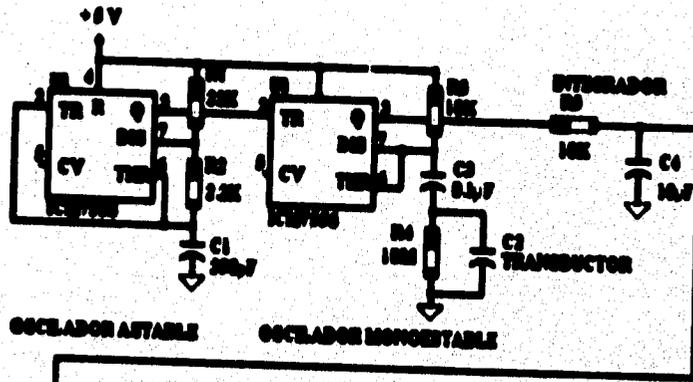
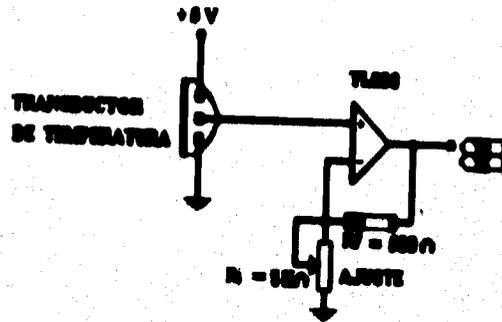
- 15 **TABORGA, Huáscar:** [1982], "*Cómo hacer una tesis*", 13a. ed., Grijalbo, México.
- 16 **VAGLICA, John J. y GILMOUR, Peter S.:** [1990], "*Como seleccionar un microcontrolador*", *IEEE Spectrum*, Noviembre, pp. 106 - 109.



Diagramas eléctricos









**LISTADO DEL PROGRAMA
DEL
SISTEMA DE CONTROL DE RIEGO POR GOTEO
EN INVERNADEROS**

1000	1 REGBAS	EQU S1000; INICIO DE REGISTROS
0100	2 BASE	EQU S0100; SALIDA DE DATOS DEL PUERTO C
0200	3 REGSAL	EQU S0200; ON_ELECTROVALVULAS
0000	4	
0000	5 PORTA	EQU S00 ;
0007	6 BDRC	EQU S07 ;
0021	7 TCTL2	EQU S21 ; _____ EDG1 EDG1 EDG3 EDG3 EDG3 EDG3
0022	8 TMSK1	EQU S22 ; OC11 OC21 OC31 OC41 OC51 IC11 IC21 IC31
0023	9 TFLG1	EQU S23 ; OC1F OC2F OC3F OC4F OC5F IC1F IC2F IC3F
0024	10 TMSK2	EQU S24 ; TO1 RT11 PA0V1 PA11 _____ PRI PRO
0025	11 TFLG2	EQU S25 ; TOF RT1F PA0VF PA1F _____
0000	12	
002B	13 BAUD	EQU S2B ; TCLR ___ SCPI SCPO BCKB NCR3 NCR1 NCR0
002C	14 SCCR1	EQU S2C ; RD TO ___ M WAKE _____
002D	15 SCCR2	EQU S2D ; TIR TCIR BIR ILIE TR BR RWU SBK
002E	16 SCSR	EQU S2E ; TDRE TC RDRFIDLE ON NV FR _____
002F	17 SCDR	EQU S2F ;
0000	18	
0030	19 ABCTL	EQU S30 ; CCV ___ SCAN MULT CD CC CB CA
0031	20 ADRI	EQU S31 ; Registro1 del ADC
0032	21 ADR2	EQU S32 ; Registro2 del ADC
0033	22 ADR3	EQU S33 ; Registro3 del ADC
0034	23 ADR4	EQU S34 ; Registro4 del ADC
0039	24 OPTION	EQU S39 ; ADPU CHL INQE DLY CME ___ CRI CHO
003A	25 COPRST	EQU S3A ; reset cop
003C	26 HPRIO	EQU S3C
0000	27	
0004	28 EOT	EQU S04
0000	29	
0001	30 OTRO	EQU S01
00FF	31 PORTC_ONEQU SFF	
0000	32	
0000	33 *FCNT	EQU S130

0030		34 FCNT	EQU 830
0035		35 SE	EQU 815
0001		36 MI	EQU 81
00B1		37	ORG 8B1
00B1		38	***** TABLA DE VARIABLES *****
00B1		39 FLAGHR	RMB 1
00B2		40 CUENTA	RMB 1
00B3		41 VARI	RMB 1
00B4		42 VAR2	RMB 1
00B5		43 POSI	RMB 1
00B6		44 TA	RMB 1
00B7		45 TI	RMB 1
00B8		46 HR	RMB 1
00B9		47 SENSOR	RMB 1
00BA		48 PIN	RMB 1
00BB		49 CLAVE	RMB 1
00BC		50 TEMPO	RMB 2
00BE		51 FSEC	RMB 2
00C0		52 SEC	RMB 1
00C1		53 FLAG	RMB 1
00C2		54 FLAG1	RMB 1
00C3		55 MINUTO	RMB 1
00C4		56	***** SALTO A TABLA DE VECTORES *****
00C4		57 JSCI	RMB 3
00C7		58 JSPI	RMB 3
00CA		59 JPAIE	RMB 3
00CD		60 JPAO	RMB 3
00D0		61 JTOP	RMB 3
00D3		62 JTOC3	RMB 3
00D6		63 JTOC4	RMB 3
00D9		64 JTOC3	RMB 3
00DC		65 JTOC2	RMB 3
00DF		66 JTOC1	RMB 3
00E2		67 JTIC3	RMB 3
00E5		68 JTIC2	RMB 3
00E8		69 JTIC1	RMB 3
00EB		70 JRTI	RMB 3
00EE		71 JIRQ	RMB 3
00F1		72 JXIRQ	RMB 3
00F4		73 JSWI	RMB 3
00F7		74 JILLOP	RMB 3
00FA		75 JCOP	RMB 3
00FD		76 JCLM	RMB 3
0100		77	
0100		78 INICIO	
0100	8E 00 FF	79 LDB #9FF	; carga el stack con 9FF
0103	0F	80 SEI	; deshabilita interrupciones
0104		81	***** VECTOR DE SALTO PARA INTERRUPCION *****
0104	86 7E	82 LDAA #57E	; carga A = 57E
0106	97 EB	83 STAA JRTI	; almacena la instruccion JMP
0100	CE 04 72	84 LDX #RTI1	; carga X = #RTI1
010B	DF EC	85 STX JRTI+1	; almacena la direccion de salto en X

```

010D
010D 86 20
010F 97 B2
0111
0111 BD 04 3C
0114 CE 10 00
0117 86 FF
0119 A7 07
011B CE 10 00
011E 86 30
0120 A7 2B
0122 86 00
0124 A7 2C
0126 86 0C
0128 A7 2D
012A
012A CE 82 00
012D 86 10
012F A7 01
0131
0131
0131 BD 04 0A
0134 86 30
0136 BD 03 F3
0139 BD 04 15
013C
013C BD 04 0A
013F 86 0E
0141 BD 03 F3
0144 BD 04 15
0147
0147 BD 04 0A
014A 86 01
014C BD 03 F3
014F BD 04 15
0152
0152 BD 04 0A
0155 86 06
0157 BD 03 F3
015A BD 04 15
015D
015D A6 2E
015F A6 2F
0161 1C 39 80
0164
0164 BD 03 60
0167 BD 02 A7
016A BD 04 56
016D
016D
016D 86 00
016F 97 C1

86.....
87 LDAA #S20 ; carga A = S20
88 STAA CUENTA ; almacena en CUENTA
89
90 JSR CEROS ; limpia
91 LDX #REGBAS ; carga X = S1000
92 LDAA #PORTC_ON ; carga A = S7F
93 STAA BBRC,X ; habilita puerto C como salida
94 LDX #REGBAS ; carga X = S1000
95 LDAA #S30 ; carga con S30 el acumulador
96 STAA BAUD,X ; almacena en el baud = S30
97 LDAA #S00 ; carga con S00
98 STAA SCCR1,X ; SCI registro de control 1
99 LDAA #S0C ; habilita la transmision
100 STAA SCCR2,X ; SCI registro de control 2
101 INHIBE
102 LDX #REGSAL ; carga X = S0300
103 LDAA #S10 ; carga A = S10
104 STAA OTRO,X ; enciende INHIBE bit PORTC.4
105
106..... FUNCTION SET .....
107 JSR PREVIO
108 LDAA #%00111000 ; function set S30
109 JSR DEMORA
110 JSR SENAL2
111..... DISPLAY ON/OFF .....
112 JSR PREVIO
113 LDAA #%00001110 ; display on/off S0E
114 JSR DEMORA
115 JSR SENAL2
116..... CLEAR DISPLAY .....
117 JSR PREVIO
118 LDAA #%00000001 ; clear display S01
119 JSR DEMORA
120 JSR SENAL2
121..... ENTRY MODE SET .....
122 JSR PREVIO
123 LDAA #%00000110 ; entry mode set S06
124 JSR DEMORA
125 JSR SENAL2
126.....
127 LDAA SCSR,X ; almacena lo que esta en S102E
128 LDAA SCBR,X ; almacena lo que esta en S102F
129 BSET OPTION,X,S00 ; inicializar el registro OPTION
130 BCLR OPTION,X,S40 ;
131 JSR CARATULA ; desplegado del LCD
132 JSR TOMADATOS ; transductores
133 JSR INITRTII ; interrupciones
134
135..... PROGRAMA PRINCIPAL .....
136 LDAA #S00 ; carga A = S00
137 STAA FLAG ; almacena en FLAG

```

0171	86 00	138	LDAA #500	; carga A = 500
0173	97 C2	139	STAA FLAG1	; almacena en FLAG1
0175	86 00	140	LDAA #500	
0177	97 D1	141	STAA FLAGHR	
0179		142	MAIN	
0179		143°	JSR COMPARA	
0179		144°	JSR TOMADATOS	
0179		145		
0179	86 41	146	LDAA #541	
017B	DD 04 35	147	JSR SENDATA	
017E		148		
017E	86 0D	149	LDAA #50D	
0180	DD 04 35	150	JSR SENDATA	
0183		151		
0183	86 8A	152	LDAA #58A	
0185	DD 04 35	153	JSR SENDATA	
0188		154		
0188		155		
0188	20 EF	156	BRA MAIN	
018A		157°	.....
018A		158	LEESCI	
018A		159°	JSR GETDATA	
018A		160°	LDX #REGBAS	; carga X = \$1000
018A		161°	LDAA CLAVE	; carga A = CLAVE
018A		162°	CMPA #541	; compara con 541
018A		163°	BEQ Q0	; si es igual salta a Q0
018A		164°	LDAA CLAVE	; carga A = CLAVE
018A		165°	CMPA #542	; compara con 542
018A		166°	BEQ Q1	; si es igual salta a Q1
018A		167°	BRA Q10	
018A		168°	Q0 LDAA TI	; carga TA
018A		169°	STAA SENSOR	; almacena
018A		170°	JSR ASCII1	
018A		171°	BRA Q10	
018A		172°	Q1	
			LDAA TI	; carga TA
018A		173°	STAA SENSOR	; almacena
018A		174°	JSR ASCII2	
018A		175°	Q10	
			LDAA #500	; carga A = 500
018A		176°	STAA CLAVE	; almacena
018A		177°	RTS	
018A		178°	.....
018A		179	ASCII1	
018A	DD 01 AD	180	JSR CONVER	
018D	96 B9	181	LDAA SENSOR	; carga A = SENSOR
018F	84 F0	182	ANDA #5F0	; parte alta del byte
0191	DD 03 3D	183	JSR ROTAR	
0194	DD 30	184	ADDA #330	; suma \$30 al A
0196	19	185	DAA	; ajuste decimal del A
0197	DD 04 35	186	JSR SENDATA	
019A	39	187	RTS	

019B		188	*****
019B		189	ASCII2
019B	BD 01 AD	190	JSR CONVER
019E	C6 00	191	LDAB #S00 ; carga B = S00
01A0	96 B9	192	LDAA SENSOR ; carga A = SENSOR
01A2	84 0F	193	ANDA #S0F ; parte baja del byte
01A4	8B 30	194	ABDA #S30 ; suma S30 al A
01A6	19	195	DAA ; ajuste decimal del A
01A7	BD 04 35	196	JSR SENDATA
01AA	39	197	RTS
01AB		198	***** CONVERSION DE HEX A ASCII *****
01AB		199	CONVER
01AB	96 B9	200	LDAA SENSOR ; carga A = SENSOR
01AD	84 0F	201	ANDA #S0F ; mult. parte baja del byte
01AF	19	202	DAA ; ajuste decimal parte baja
01B0	97 BC	203	STAA TEMPO ; almacena temporalmente en TEMPO
01B2	96 B9	204	LDAA SENSOR ; carga A = SENSOR
01B4	84 F0	205	ANDA #SFO ; mult. parte alta del byte
01B6	BD 03 3D	206	JSR ROTAR ; rotacion derecha 4 veces
01B9	C6 16	207	LDAB #S16 ; carga B = S16
01BB	3D	208	MUL ; multiplica
01BC	17	209	TBA ; transfiere de B al A
01BD	19	210	DAA ; ajuste decimal parte alta
01BE	9B BC	211	ABDA TEMPO ; suma A + TEMPO
01C0	19	212	DAA ; ajuste decimal completo
01C1	97 B9	213	STAA SENSOR ; almacena en SENSOR la nueva medicion
01C3	39	214	RTS
01C4		215	***** COMPARACION *****
01C4		216	COMPARA
01C4	D6 B6	217	LDAB TA ; carga B con Temperatura Ambiental
01C6	C1 0A	218	CMPB #S0A ; compara con S10 la TA
01C8	23 02	219	BLS CALENTADOR ; IF(TA <= S0A) THEN CALENTADOR
01CA	20 09	220	BRA ETI1 ; salta a ETI1
01CC		221	CALENTADOR
01CC	CE 02 00	222	LDX #REGSAL ; carga X = S0200
01CF	86 90	223	LDAA #S90 ; carga A = S90
01D1	A7 01	224	STAA OTRO,X ; ON_CALENTADOR bit PORTC.7
01D3	20 42	225	BRA ETI0 ; salta a FCOMPA
01D5		226	ETI1
01D5	0C	227	CLC ; limpia bit de carry
01D6	D6 B7	228	LDAB TI ; carga B con Temperatura Interior
01D8	C1 20	229	CMPB #S20 ; compara con S32
01DA	24 0B	230	BHS VENTILADOR ; IF (TI >= S32) THEN VENTILADOR
01DC	96 C1	231	LDAA FLAG ; carga A = FLAG
01DE	01 01	232	CMPA #S01 ; compara con 1
01E0	26 22	233	BNE ETI2 ; IF (A no es = S00) THEN ETI2
01E2	BD 02 5C	234	JSR TI_ALTA
01E5	20 30	235	BRA ETI0
01E7		236	VENTILADOR
01E7	CE 02 00	237	LDX #REGSAL ; carga X = S0200
01EA	86 50	238	LDAA #S50 ; carga A = S50
01EC	A7 01	239	STAA OTRO,X ; ON_VENTILADOR bit PORTC.6

01EE	96 C1	240	LDAA FLAG	; carga A = FLAG
01FO	01 00	241	CMPA #300	; compara con 300
01F2	26 07	242	BNE ETI2:	; IF (FLAG no es = 300) THEN ETI2:
01F4	96 C3	243	LDAA MINUTO	; carga A = MINUTO
01F6	0B 01	244	ADDA #1	; suma 1 al acumulador
01F8	19	245	DAA	; ajuste decimal
01F9	97 0B	246	STAA CLAVE	; almacena en CLAVE
01FB		247	ETI2:	
01FD	0B 02 5C	248	JSR TI_ALTA	
01FE	96 C1	249	LDAA FLAG	; carga A = FLAG
0200	01 00	250	CMPA #300	; compara con 300
0202	26 56	251	BNE FCOMPA; IF (A no es = 300) THEN ETI2:	
0204		252	ETI2	
0204	0C	253	CLC	; limpia bit de carry
0205	B6 00	254	LDAB HR	; carga B con Humedad Relativa
0207	C1 46	255	CMPB #70	; compara con 300
0209	23 0E	256	BLS ETI3	; IF (B >= 300) THEN SALTO
020B		257		
020D	96 B1	258	LDAA FLAGHR	
020D	01 01	259	CMPA #301	
020F	27 02	260	BEQ ETIB	
0211	20 04	261	BRA ETIB1	
0213		262	ETIB	
0213	06 00	263	LDAA #300	
0215	97 B1	264	STAA FLAGHR	
0217		265		
0217	20 41	266	ETIB1	
			BRA FCOMPA	
0219		267		
0219		268	ETI3	
0219	0C	269	CLC	; limpia bit de carry
021A	96 00	270	LDAA HR	
021C	00 06	271	SUBA #506	
021E	16	272	TAB	
021F	C1 32	273	CMPB #50	; compara con 40 decimal
0221	23 09	274	BLS ETIS	; IF (HR <= 64%) THEN ETIS
0223	0C	275	CLC	
0224	96 B1	276	LDAA FLAGHR	
0226	01 01	277	CMPA #301	
0228	27 02	278	BEQ ETIS	
022A	20 2E	279	BRA FCOMPA	
022C		280		
022C		281	ETIS	
022C	06 01	282	LDAA #301	
022E	97 B1	283	STAA FLAGHR	
0230	0C	284	CLC	
0231		285	***** ON_VALVULAS *****	
0231	C6 00	286	LDAB #300	; ON_VALVULA 0
0233	CE 02 00	287	LDX #REGSAL	; carga X = \$0200
0236	0E	288	CLI	; habilita interrupciones
0237		289	ETI6	
0237	E7 01	290	STAB OTROX	; salida al PORTC

0239	96 C0	291	LDAA SEC	; carga A = SEC
023B	8B 00	292	ABDA #00	; tiempo de retardo de cada valvula apres
				; 2seg
023D	19	293	BAA	; ajuste decimo
023E	97 C2	294	STAA FLAG1	; almacena en FLAG1
0240	0C	295	CLC	
0241	BD 02 8E	296	JSR RETARDO2	
0244	86 00	297	LDAA #300	; carga A = 300
0246	97 C2	298	STAA FLAG1	; almacena en FLAG1
0248	7F 00 C0	299	CLR SEC	; limpia SEC
024B	5C	300	INCB	; incremento valvula
024C	0C	301	CLC	; limpia carry
024D	C1 10	302	CMPB #010	; compara con 00F
024F	26 E6	303	BNE ET16	; IF (B no es = 16 electro) THEN ET16
0251		304	..... LIMPIAR	
0251	0F	305	SEI	; deshabilita interrupciones
0252	0C	306	CLC	; limpia carry
0253	C6 10	307	LDAB #310	; ON_VALVULA 0 Inhibe las Electro
				; valvulas
0255	CE 02 00	308	LDX #REGSAL	; carga X = 30200
0258	E7 01	309	STAB OTRO,X	; Salida al PORTC
025A	0C	310	FCOMPA	
				; limpia bit de carry
025B	39	311	RTS	
025C		312	..... RETARDO VENTILADOR	
025C		313	TI_ALTA	
025C	0E	314	CLI	; habilita interrupciones
025D	96 C3	315	LDAA MINUTO	; carga A = MINUTO
025F	91 BB	316	CMPA CLAVE	; compara con CLAVE
0261	2C 07	317	BGE OFF_VENTI	; IF (MINUTO >= CLAVE) THEN
				; OFF_VENTI
0263	0F	318	SEI	; deshabilita interrupciones
0264	86 01	319	LDAA #301	; carga 301 en el acumulador
0266	97 C1	320	STAA FLAG	; almacena el FLAG
0268	20 12	321	BRA FG	; salta
026A		322	OFF_VENTI	
026A	86 10	323	LDAA #310	; carga acumulador con 310
026C	CE 02 00	324	LDX #REGSAL	; carga X = 30200
026F	A7 00	325	STAA 0,X	; almacena en 30200
0271	BD 03 F3	326	JSR DEMORA	
0274	BD 03 F3	327	JSR DEMORA	
0277	86 00	328	LDAA #300	; carga A = 300
0279	97 C1	329	STAA FLAG	; almacena en FLAG
027B	0F	330	SEI	; deshabilita interrupciones
027C		331	FG	
027C	0C	332	CLC	; limpia carry
027D	39	333	RTS	
027E		334	RETARDO	
027E		335	LDAA MINUTO	; carga A = MINUTO
027E		336	CMPA #301	; 301
027E		337	BEQ APAGA	; salta si es igual a 301
027E		338	BRA FRETARDO	

027E		339°	APAGA	
027E		340°	LDBX #REGSAL	; carga X = S0200
027E		341°	LBAA #077	; carga A = S55
027E		342°	STAA OTRO,X	; el dato sale por el PORTC
027E		343°	JSR CEROS	
027E		344°	FRETARDO	
027E		345°	RTS	
027E		346°	***** RETARDO CALENTADOR *****	
027E		347	TI_BAJA	
027E	96 C3	348	LBAA MINUTO	; carga A = MINUTO
0280	81 01	349	CMPA #301	; 301
0282	27 02	350	BEQ OFF_CALEN	; salta si es igual a 301
0284	20 F0	351	BRA TI_BAJA	
0286		352	OFF_CALEN	
0286	CE 02 00	353	LDBX #REGSAL	; carga X = S0200
0289	06 10	354	LBAA #310	; carga A = S10
028B	A7 01	355	STAA OTRO,X	; el dato sale por el PORTC
028D	39	356	RTS	
028E		357°	***** RETARDO ELECTROVALVULAS *****	
028E		358	RETARDO2	
028E	96 C0	359	LBAA SEC	; carga A = SEC
0290	91 C2	360	CMPA FLAG1	; compara con FLAG1
0292	2E 02	361	BGT APAGA2	; IF (SEC >= FLAG1) THEN APAGA2
0294	20 F0	362	BRA RETARDO2	
0296		363	APAGA2	
0296	CE 02 00	364	LDBX #REGSAL	; carga X = S0200
0299	06 10	365	LBAA #310	; carga A = S00
029B	A7 01	366	STAA OTRO,X	; el dato sale por el PORTC
029D	BD 03 F3	367	JSR DEMORA	
02A0	BD 03 F3	368	JSR DEMORA	
02A3	BD 03 F3	369	JSR DEMORA	
02A6	39	370	RTS	
02A7		371°	*****	
02A7		372	TOMADATOS	
02A7	06 14	373	LBAA #314	; carga A = S14
02A9	97 BA	374	STAA PIN	; almacena en PIN
02AB	BD 03 46	375	JSR ADIN	
02AE		376		
02AE	06 15	377	LBAA #315	; carga A = S15
02B0	97 BA	378	STAA PIN	; almacena en PIN
02B2	BD 03 46	379	JSR ADIN	
02B5		380		
02B5	06 16	381	LBAA #316	; carga A = S16
02B7	97 BA	382	STAA PIN	; almacena en PIN
02B9	BD 03 46	383	JSR ADIN	
02BC		384		
02BC	BD 03 00	385	JSR VERHR	
02BF	BD 02 E3	386	JSR VERTI	
02C2	BD 02 C6	387	JSR VERTA	
02C5		388		
02C5		389		
02C5	39	390	RTS	

02C6		391	*****
02C6		392	VERTA
02C6	BD 03 18	393	JSR COLOCADATOS
02C9	86 44	394	LDAA #344 ; carga A = 344 para la poscion en el LCD
02CB	97 B5	395	STAA POSI ; almacena en POSI
02CD	BD 03 D4	396	JSR DESPLA
02D0	BD 03 FC	397	JSR CURSOR
02D3	96 B6	398	LDAA TA ; carga A = TA
02D5	97 B9	399	STAA SENSOR ; almacena en SENSOR temperatura ; ambiental
02D7	BD 01 AB	400	JSR CONVER
02DA	BD 03 21	401	JSR ASCII
02DD	C6 DF	402	LDAB #3DF ; carga B = 3DF = grado
02DF	BD 03 A6	403	JSR OUTPUT ; salida al LCD
02E2	39	404	RTS
02E3		405	*****
02E3		406	VERTI
02E3	BD 03 18	407	JSR COLOCADATOS
02E6	86 54	408	LDAA #354 ; carga A = 354 para la poscion en el LCD
02E8	97 B5	409	STAA POSI ; almacena en POSI
02EA	BD 03 D4	410	JSR DESPLA
02DE	BD 03 FC	411	JSR CURSOR
02F0	96 B7	412	LDAA TI ; carga A = TI
02F2	97 B9	413	STAA SENSOR ; almacena en SENSOR la temp. interior
02F4	BD 01 AB	414	JSR CONVER
02F7	BD 03 21	415	JSR ASCII
02FA	C6 DF	416	LDAB #3DF ; carga B = 3DF = grado
02FC	BD 03 A6	417	JSR OUTPUT ; salida al LCD
02FF	39	418	RTS
0300		419	*****
0300		420	VERHR
0300	BD 03 18	421	JSR COLOCADATOS
0303	86 64	422	LDAA #364 ; carga A = 364 para la poscion en el LCD
0305	97 B5	423	STAA POSI ; almacena en POSI
0307	BD 03 D4	424	JSR DESPLA
030A	BD 03 FC	425	JSR CURSOR
030D	96 B8	426	LDAA HR ; carga A = HR
030F	97 B9	427	STAA SENSOR ; almacena en SENSOR la humedad relativa
0311	BD 01 AB	428	JSR CONVER
0314	BD 03 21	429	JSR ASCII
0317		430	
0317		431	
0317	39	432	RTS
0318		433	***** FIN DE LAS TRES CONVERSIONES DE ENTRADA *****
0318		434	COLOCADATOS
0318	86 50	435	LDAA #350 ; carga A = 350
031A	97 B3	436	STAA VARI ; almacena en VARI
031C	86 10	437	LDAA #310 ; carga A = 310
031E	97 B4	438	STAA VAR2 ; almacena en VAR2
0320	39	439	RTS
0321		440	*****
0321		441	ASCII

0321	96 B9	442	LDAA SENSOR	; carga A = SENSOR
0323	84 F0	443	ANDA #9F0	; parte alta del A
0325	BD 03 3D	444	JSR ROTAR	
0328	8B 30	445	ABDA #330	; suma 330 al A
032A	19	446	BAA	; ajuste decimal
032B	16	447	TAB	; transfiere A a B
032C	BD 03 A6	448	JSR OUTPUT	
032F		449		
033F	C6 00	450	LDAB #000	; limpia B = 000
0331	96 B9	451	LDAA SENSOR	; carga A = SENSOR
0333	84 0F	452	ANDA #30F	; parte baja del A
0335	8B 30	453	ABDA #330	; suma 330 al A
0337	19	454	BAA	; ajuste decimal
0338	16	455	TAB	; transfiere A a B
0339	BD 03 A6	456	JSR OUTPUT	
033C		457	*****este es nuevo	
033C		458	LDAA SENSOR	
033C		459	LDAB SENSOR	
033C	39	460	RTS	
033D		461	***** ROTACION A LA IZQUIERDA 4 VECES *****	
033D		462	ROTAR	
033D	37	463	PSHB	; almacena en la pila B
033E	C6 04	464	LDAB #304	; carga B = 304
0340		465	HEXSHT	
0340	46	466	RORA	; rotar 4 veces el A
0341	5A	467	DECB	; decrementa B
0342	2E FC	468	BGT HEXSHT	; IF (A >= 0) THEN HEXSHT
0344	33	469	PULB	; restaura de la pila B
0345	39	470	RTS	
0346		471	***** CONVERTIDOR ANALOGICO-DIGITAL *****	
0346		472	ADIN	
0346	3C	473	PSHX	; almacena en la pila X
0347	CE 10 00	474	LDX #REGBAS	; carga X = \$1000
034A	96 BA	475	LDAA PIN	; carga la var PIN en el A
034C	A7 30	476	STAA ADCTL,X	; Inicializa el registro de control /status
034E		477	ADINI	
034E	1F 30 00 FC	478	BRCLR ADCTL,X,\$80,ADINI	
0352		479		
0352	A6 31	480	LDAA ADR1,X	; carga A = ADR1+X
0354	97 B6	481	STAA TA	; almacena en TA
0356		482		
0356	A6 32	483	LDAA ADR2,X	; carga A = ADR2+X
0358	97 B7	484	STAA TI	; almacena en TI
035A		485		
035A	A6 33	486	LDAA ADR3,X	; carga A = ADR3+X
035C	97 B8	487	STAA HR	; almacena en HR
035E		488		
035E	38	489	PULX	; restaura de la pila X
035F	39	490	RTS	
0360		491	*****	
0360		492	CARATULA	
0360	B6 50	493	LDAA #550	; carga A = 550

0362	97 B3	494	STAA VAR1	; almacena en la variable VAR1
0364	86 10	495	LDAA #S10	; carga A = S10
0366	97 B4	496	STAA VAR2	; almacena en la variable VAR2
0368		497	..... 1ra. y 2 da. LINEA	
0368	18 CE 04 B0	498	LDY #MSG1	; carga Y = MSG1
036C	BD 03 93	499	JSR OUTSTRG	
036F	BD 03 BD	500	JSR LINEDOWN	
0372	18 CE 04 B9	501	LDY #MSG2	; carga Y = MSG2
0376	BD 03 93	502	JSR OUTSTRG	
0379		503		
0379	86 60	504	LDAA #S60	; carga A = S60
037B	97 B3	505	STAA VAR1	; almacena en la VAR1
037D	86 14	506	LDAA #S20	; carga A = S20
037F	97 B4	507	STAA VAR2	; almacena en la VAR2
0381		508	..... 3ra. y 4ta. LINEA	
0381	18 CE 05 02	509	LDY #MSG3	; carga Y = MSG3
0385	BD 03 93	510	JSR OUTSTRG	
0388	BD 03 BD	511	JSR LINEDOWN	
038B	18 CE 05 2B	512	LDY #MSG4	; carga Y = MSG4
038F	BD 03 93	513	JSR OUTSTRG	
0392	39	514	RTS	
0393		515	.....
0393		516	OUTSTRG	
0393	36	517	PSHA	; almacena en la pila A
0394	37	518	PSHD	; almacena en la pila B
0395		519	OUTSTRG1	
0395	18 E6 00	520	LDAB 0,Y	; carga B con reg. Y + S00
0398	C1 04	521	CMPB #EOT	; compara con fin de caracteres
039A	27 07	522	BEQ OUTSTRG3	; IF (B = EOT) THEN OUTSTRG3
039C	BD 03 A6	523	JSR OUTPUT	
039F	18 00	524	INY	; incremento Y
03A1	20 F2	525	BRA OUTSTRG1	
03A3		526	OUTSTRG3	
03A3	33	527	PULB	; restaura de la pila B
03A4	32	528	PULA	; restaura de la pila A
03A5	39	529	RTS	
03A6		530	.....
03A6		531	OUTPUT	
03A6	CE 10 00	532	LDX #REGBAS	; carga reg. indexado X = S1000
03A9	86 70	533	LDAA #S70	; carga A = S70
03AB	A7 00	534	STAA PORTA,X	; salen datos por el PORTA
03AD	BD 03 F3	535	JSR DEMORA	
03B0	BD 03 B7	536	JSR DATOC	
03B3	BD 03 EB	537	JSR SENALES	
03B6	39	538	RTS	
03B7		539	.....
03B7		540	DATOC	
03B7	CE 01 00	541	LDX #BASE	; carga X = S0200
03BA	E7 01	542	STAB OTRO,X	; almacena en OTRO
03BC	39	543	RTS	
03BD		544	.....
03BD		545	LINEDOWN	

03BD	CE 10 00	546	LDB #REGBAS	; carga X = \$1000
03C0	B6 30	547	LDAA #930	; carga A = \$30
03C2	A7 00	548	STAA PORTA,X	; variable de control del PORTA
03C4		549		; para el LCD
03C4	C6 C0	550	LDAB #%11000000	; carga B = \$C0
03C6	BD 03 B7	551	JSR DATOC	
03C9	BD 03 F3	552	JSR DEMORA	
03CC		553		
03CC	CE 10 00	554	LDB #REGBAS	; carga X = \$1000
03CF	96 B4	555	LDAA VAR2	; carga A = VAR2 que es \$10
03D1	A7 00	556	STAA PORTA,X	; variable de control del PORTA
03D3	39	557	RTS	
03D4		558	.....
03D4		559	DESPLA	
03D4	CE 10 00	560	LDB #REGBAS	; carga X = \$1000
03D7	B6 30	561	LDAA #930	; carga A = \$30
03D9	A7 00	562	STAA PORTA,X	; sale dato por el PORTA
03DB		563		
03DB	B6 B5	564	LDAB POS1	; carga B = POS1
03DD	BD 03 B7	565	JSR DATOC	
03E0	BD 03 F3	566	JSR DEMORA	
03E3		567		
03E3	CE 10 00	568	LDB #REGBAS	; carga X = \$1000
03E6	96 B4	569	LDAA VAR2	; carga A = VAR2
03E8	A7 00	570	STAA PORTA,X	; sale dato por el PORTA
03EA	39	571	RTS	
03EB		572	.....
03EB		573	SENALES	
03EB	CE 10 00	574	LDB #REGBAS	; carga X = \$1000
03EE	96 B3	575	LDAA VARI	; carga A = VARI
03F0	A7 00	576	STAA PORTA,X	; sale dato por el PORTA
03F2	39	577	RTS	
03F3		578	.....
03F3		579	DEMORA	
03F3	3C	580	PSHX	; coloca en el stack X
03F4	CE 1F FF	581	LDB #S1FFF	; carga stack con S1FFF
03F7		582	LOOP	
03F7	09	583	DEX	; decrementa
03F8	26 FD	584	BNE LOOP	; IF X = 0 THEN LOOP
03FA	38	585	PULX	; restaura X
03FB	39	586	RTS	
03FC		587	.....
03FC		588	CURSOR	
03FC	BD 04 0A	589	JSR PREVIO	
03FF	B6 14	590	LDAA #%00010100	; carga A = \$14
0401	A7 01	591	STAA OTRO,X	; almacena en OTRO
0403	BD 03 F3	592	JSR DEMORA	
0406	BD 04 2A	593	JSR SENAL3	
0409	39	594	RTS	
040A		595	.....
040A		596	PREVIO	
040A	CE 10 00	597	LDB #REGBAS	; carga el X = \$1000

040D	B6 30	598	LDAA #630	; carga el acumulador con \$30
040F	A7 00	599	STAA PORTA,X	; habilita el pin PAS = 1 = E1
0411	CE 01 00	600	LDX #BASE	; carga X = \$0200
0414	39	601	RTS	
0415		602	.....
0415		603	SENALJ	
0415	A7 01	604	STAA OTRO,X	; almacena
0417	CE 10 00	605	LDX #REGBAS	; carga X = \$1000
041A	B6 00	606	LDAA #000	; carga A = \$00
041C	A7 00	607	STAA PORTA,X	; almacena en PORTA
041E	BD 03 F3	608	JSR DEMORA	
0421	39	609	RTS	
0422		610	.....
0422		611	GU	
0422	B6 16	612	LDAA #616	; carga A = \$16
0424	97 BA	613	STAA PIN	; almacena en PIN
0426	BD 03 46	614	JSR ADIN	
0429	39	615	RTS	
042A		616	SENALJ	
042A	CE 10 00	617	LDX #REGBAS	; carga X = \$1000
042B	B6 50	618	LDAA #350	; carga A = \$50
042F	A7 00	619	STAA PORTA,X	; almacena en PORTA
0431	BD 03 F3	620	JSR DEMORA	
0434	39	621	RTS	
0435		622	.....
0435		623	SENDATA	
0435	1F 2E 00 FC	624	BRCLR SCSR,X,\$00,SENDATA	
0439	A7 2F	625	STAA SCDBL,X	
043B	39	626	RTS	
043C		627	.....
043C		628	CEROS	
043C	7F 00 BD	629	CLR CLAVE	; Limpia CLAVE
043F	7F 00 BE	630	CLR FSEC	; Limpia FSEC
0442	7F 00 BF	631	CLR FSEC+1	;
0445	7F 00 C0	632	CLR SEC	; Limpia SEC
0448	7F 00 C3	633	CLR MINUTO	; Limpia MINUTO
044B	39	634	RTS	
044C		635	.....
044C		636	INITSCI	
044C	B6 7E	637	LDAA #67E	; carga A = \$7E
044E	97 C4	638	STAA JSCI	; almacena la instruccion JMP
0450	CE 04 67	639	LDX #RSCI	; carga X = \$RSCI
0453	DF C5	640	STX JSCI+1	; almacena la direccion de salto en X
0455	39	641	RTS	
0456		642	.....
0456		643	INITRTI	
0456	CE 10 00	644	LDX #REGBAS;	carga X = \$1000
0459	1C 24 40	645	BSET TMSK2,X,\$40	; habilita interrupcion RTI
045C	7F 00 BE	646	CLR FSEC	; Limpia FSEC
045F	7F 00 BF	647	CLR FSEC+1	;
0462	B6 40	648	LDAA #340	; carga A = \$40
0464	A7 25	649	STAA TFLG2,X	; bandera de interrupcion

0466	39	650	RTS
0467		651	***** RUTINA DE INTERRUPCION PUERTO SERIE *****
0467		652	RSCI
0467	BD 04 6B	653	JSR GETDATA
046A	3B	654	RTI
046B		655	*****
046B		656	GETDATA
046B		657	BRCLR SCBR,X,520,GETDATA
046B	E6 2E	658	LDAB SCBR,X
046B	A6 2F	659	LDAA SCBR,X
046F	97 BB	660	STAA CLAVE
0471	39	661	RTS
0472		662	***** REAL TIME INTERRUPT *****
0472		663	*****
0472		664	Cuando SEC pasa de 59 a 0, inc MINUTO*
0472		665	Cuando MIN pasa de 59 a 0, LIMPIA MIN*
0472		666	*****
0472		667	RTI
0472	10 DE DE	668	LDY FSEC
0475	10 00	669	INY
0477	10 BF DE	670	STY FSEC
047A	10 0C 00 30	671	CPY #FCNT
047E	27 09	672	BEQ SEGUNDOS
0480	CE 10 00	673	H1
			LDX #REGBAS
0483	26 40	674	LDAA #540
0485	A7 25	675	STAA TFLG2,X
0487	20 26	676	BRA FINRTI
0489		677	SEGUNDOS
0489	7F 00 DE	678	CLR FSEC
048C	7F 00 BF	679	CLR FSEC+1
048F	96 C0	680	LDAA SEC
0491	8B 01	681	ADDA #1
0493	19	682	DAA
0494	97 C0	683	STAA SEC
0496	81 15	684	CMPA #SE
0498	27 02	685	BEQ MINUTOS
049A	20 E4	686	BRA H1
049C		687	MINUTOS
049C	7F 00 C0	688	CLR SEC
049F	96 C3	689	LDAA MINUTO
04A1	8B 01	690	ADDA #1
04A3	19	691	DAA
04A4	97 C3	692	STAA MINUTO
04A6	81 60	693	CMPA #560
04AB	27 02	694	BEQ H2
04AA	20 D4	695	BRA H1
04AC		696	H2
04AC	7F 00 C3	697	CLR MINUTO
04AF		698	FINRTI
04AF	3B	699	RTI
04B0		700	

04B0 20 20 53 49 53 54 + 701 MSGA1
 04B0 04 702 FCB EOT
 04B9 54 41 20 3D 20 20 + 703 MSGA3
 0501 04 704 FCB EOT
 0502 56 4E 49 56 45 52 + 705 MSGA3
 DE
 052A 04 706 FCB EOT
 052B 46 41 43 55 4C 54 + 707 MSGA4
 0541 04 708 FCB EOT
 0542 20 20 20 20 20 20 + 709 MSGA5
 056A 04 710 FCB EOT

FCC ' SISTEMA DE CONTROL DE UN
INVERNADERO '

FCC 'TA = C TI = C HR = %'

FCC 'UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
MEXICO'

FCC 'FACULTAD DE INGENIERIA'

FCC ' ERROR INICIALIZAR SISTEMA

SYMBOL TABLE:

ABCTL	-0030
ABIN	-0346
ABINI	-034E
ADR1	-0031
ADR2	-0032
ADR3	-0033
ADR4	-0034
APAGA3	-0296
ASCI	-0321
ASCI1	-010A
ASCI2	-019B
BASE	-0100
BAUD	-002B
CALENTADOR	-01CC
CARATULA	-0360
CEROS	-043C
CLAVE	-00BB
COLOCADATOS	-0318
COMPARA	-01C4
CONVER	-01AB
COPRST	-003A
CUENTA	-00B2
CURSOR	-03FC
DATOC	-03B7
DBRC	-0007
DEMORA	-03F3
DESPLA	-03D4
EOT	-0004
ET11	-01D5
ET12	-0204
ET12:	-01FB
ET13	-0219
ET15	-022C
ET16	-0237
ET1B	-0213
ET1B1	-0217
FCNT	-0030

FCOMPA	-025A
FG	-027C
FINRTI	-04AF
FLAG	-00C1
FLAG1	-00C3
FLAGHR	-00B1
FSEC	-00BE
GETDATA	-046B
GU	-0422
H1	-0400
H2	-04AC
HEXSHFT	-0340
HPRIO	-003C
HR	-00B8
INHIDE	-012A
INICIO	-0100
INITRTII	-0456
INITSCI	-044C
JCLM	-007D
JCOP	-007A
JILLOP	-0077
JIRQ	-00EE
JPAIE	-00CA
JPAO	-00CB
JRTI	-00EB
JSCI	-00C4
JSPI	-00C7
JSWI	-0074
JTIC1	-00E8
JTIC2	-00E5
JTIC3	-00E2
JTOC1	-00D7
JTOC2	-00DC
JTOC3	-00D9
JTOC4	-00D6
JTOC5	-00D3
JTOF	-00D0
JXIRQ	-0071
LEESCI	-010A
LINEDOWN	-03BD
LOOP	-03F7
MAIN	-0179
MI	-0001
MINUTO	-00C3
MINUTOS	-049C
MSG1	-04B0
MSG2	-04D9
MSG3	-0502
MSG4	-052B
MSG5	-0542
OFF_CALEN	-0286
OFF_VENTI	-026A

OPTION	-0039
OTRO	-0001
OUTPUT	-03A6
OUTSTRG	-0393
OUTSTRG1	-0395
OUTSTRG3	-03A3
PIN	-00BA
PORTA	-0000
PORTC_ON	-007F
POS1	-00E5
PREVIO	-040A
REGDAS	-1000
REGSAL	-0200
RETARDO2	-020E
ROTAR	-033D
RSCI	-0467
RTII	-0472
SCCR1	-002C
SCCR2	-002D
SCDR	-002F
SCSR	-002E
SE	-0015
SEC	-00C0
SEGUNDOS	-0409
SENAL2	-0415
SENAL3	-042A
SENALES	-03EB
SENDATA	-0435
SENSOR	-00B9
TA	-00B6
TCTL3	-0021
TEMPO	-00BC
TFLG1	-0023
TFLG2	-0025
TI	-00B7
TI_ALTA	-025C
TI_BAJA	-027E
TMSK1	-0022
TMSK2	-0024
TOMADATOS	-02A7
VARI	-00B3
VAR2	-00B4
VENTILADOR	-01E7
VERHR	-0300
VERTA	-02C6
VERTI	-02E3