

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## ESCUELA DE INGENIERÍA

### TEMPORIZADOR PROGRAMABLE PARA INVERNADEROS EN BASE A MICROCONTROLADOR PIC

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y CONTROL

ROMEL LEONARDO JARAMILLO SALAZAR

DIRECTORA: ING. ANA RODAS

Quito, Noviembre de 2002

## DECLARACIÓN

Yo, Romel Leonardo Jaramillo Salazar, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la siguiente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Leonardo Jaramillo S.

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Romel Leonardo Jaramillo Salazar, bajo mi supervisión.

---

Ing. Ana Rodas  
DIRECTORA DE PROYECTO

## AGRADECIMIENTO

A Dios, quien me ha guiado y acompañado por el camino del bien, me ha bendecido llenándome de salud, sabiduría, alegría, paz, amor y esperanza, sobre todo, por haber hecho que sea parte de una familia excepcional, la misma que me ha sabido brindar apoyo incondicional y ha contribuido en todo momento a mi crecimiento personal.

Mis sinceros agradecimientos a la Ing. Ana Rodas, Directora del Proyecto de Titulación, por su ayuda desinteresada y acertada conducción en el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Wladimir Granda, Jefe del Departamento Técnico de ISRARIEGO "Riego con Tecnología Israelí" y a la empresa en mención por brindarme su confianza en la elaboración del proyecto dentro del departamento técnico que muy eficiente y orgullosamente representa; además por la amistad y apoyo brindados todo este tiempo.

Solange, fuiste más que un apoyo en el desarrollo del proyecto, mil gracias.

Leonardo Jaramillo S.

## DEDICATORIA

Con mucho cariño, este trabajo esta dedicado a quienes lo hicieron posible: a mis Abuelitos: Eustorgio y Elvira; a mi Padre: Luis; a mis Hermanos: Paola, Eliana y Santiago. De manera muy especial y con mucho agrado a mi Madre: Jovita, quien con su ejemplo, sabiduría, amor, sacrificio, apoyo y comprensión siembra cada día valores humanos en mi corazón. A mi familia mi agradecimiento eterno, este trabajo esta dedicado a ustedes.

Leonardo Jaramillo S.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	vi
PRESENTACIÓN .....	viii

### CAPITULO 1: TIEMPOS DE RIEGO EN LA AGRICULTURA

1.1	Riego Agrícola.....	02
1.1.1	Importancia del Riego Agrícola.....	02
1.2	El Agua en el Suelo y la Planta.....	03
1.3	Fundamentos del Riego.....	05
1.3.1	Métodos de Riego.....	05
1.3.1.1	Riego por Superficie.....	05
1.3.1.2	Riego por Aspersión.....	08
1.3.1.3	Riego Localizado.....	10
1.3.1.3.1	Típos de Riego Localizado.....	13
1.3.1.3.1.1	Riego por Goteo.....	14
1.3.1.3.1.2	Riego por Tuberías Emisoras.....	15
1.3.1.3.1.3	Riego por Microaspersión o Microdifusión.....	16
1.4	Programación de Riegos.....	17
1.4.1	Necesidades de Agua de los Cultivos.....	17
1.4.1.1	Evotranspiración de Referencia (ETr).....	19
1.4.1.2	Coefficiente de Cultivo.....	19
1.4.2	El Agua del Riego en Relación con el Suelo.....	22
1.4.3	Estimación de las Necesidades de Riego usando el Método del Balance de Agua.....	27
1.4.3.1	Necesidades Netas de Riego.....	28
1.4.3.2	Necesidades Brutas de Riego.....	29
1.4.4	Estrategias de Riego.....	30
1.4.5	Calendarios Medios de Riego.....	32
1.4.6	Programación de Riegos. Cálculo del Tiempo de Riego.....	40
1.5	Riego Subterráneo.....	43

1.5.1	Características del Sistema de Riego Subterráneo.....	44
1.6	Automatización de Tiempos de Riego.....	45
1.6.1	Fase Inicial.....	46
1.6.2	Fase de Desarrollo.....	46
1.6.3	Fase Media.....	47
1.6.4	Fase de Maduración.....	48
1.7	Temporizadores de Riego.....	48
1.7.1	Temporizador a Diseñar.....	52
1.7.1.1	Características del Temporizador a Diseñar.....	52
1.7.1.1.1	Características de Hardware.....	52
1.7.1.1.2	Características de Software.....	53
1.7.1.2	Limitaciones del Temporizador a Diseñar.....	54

## CAPITULO 2: DISEÑO DEL HARDWARE

2.1	Características del Temporizador Programable.....	56
2.1.1	Consideraciones Generales.....	56
2.1.2	Consideraciones de Hardware.....	56
2.1.2.1	Etapa de Control y Visualización.....	57
2.1.2.2	Entradas Físicas.....	58
2.1.2.3	Salidas Físicas.....	59
2.1.2.4	Fuente de Alimentación.....	59
2.2	Diseño del Hardware.....	60
2.2.1	Diseño de la Etapa de Control y Visualización.....	62
2.2.1.1	Elección del Microcontrolador.....	62
2.2.1.1.1	Hardware para el Microcontrolador PIC16F877.....	64
2.2.1.2	Reloj en Tiempo Real.....	65
2.2.1.3	Etapa de Visualización.....	68
2.2.1.3.1	Display de Cristal Líquido (LCD).....	68
2.2.1.3.2	Leds de Visualización.....	71
2.2.2	Diseño de la Etapa de Entradas.....	73
2.2.2.1	Teclado.....	73

2.2.2.2	Circuito de Aislamiento entre la Señal del Sensor y el Microcontrolador.....	75
2.2.3	Diseño de la Etapa de Salidas.....	78
2.2.3.1	Drivers o Manejadores de Relés.....	78
2.2.3.2	Relés.....	80
2.2.4	Fuente de Alimentación.....	81
2.2.4.1	Reguladores de Voltaje.....	81
2.2.4.2	Circuito de Emergencia.....	82
2.2.4.3	Protecciones.....	83

### CAPITULO 3: DISEÑO DEL SOFTWARE

3.1	Diseño del Software para el Microcontrolador PIC16F877.....	87
3.1.1	Descripción del Software para Edición, Simulación, Depuración y Assembler MPLAB™.....	87
3.1.2	Programa para el Microcontrolador PIC16F877 .....	89
3.1.3	Configuración de las Memorias del PIC16F877 .....	89
3.1.3.1	Distribución de la Memoria de Datos tipo EEPROM del Microcontrolador PIC16F877 .....	90
3.1.3.2	Distribución de la Memoria de Datos tipo RAM del Microcontrolador PIC16F877 .....	98
3.1.3.3	Distribución de la Memoria de Programa tipo EEPROM del Microcontrolador PIC16F877 .....	108
3.1.4	Subrutinas de Configuración.....	110
3.1.4.1	Configuración del Microcontrolador PIC16F877 Para Manejo de Periféricos.....	112
3.1.4.2	Configuración del Display de Cristal Líquido (LCD).....	114
3.1.4.3	Configuración del Reloj en Tiempo Real (RTC).....	118
3.1.4.4	Ajuste de Tiempo .....	121
3.1.4.5	Test .....	123
3.1.4.5.1	Test del Sensor .....	123
3.1.4.5.2	Test de Válvulas .....	125

3.1.4.6	Calibración del Equipo para el manejo del Sensor (Hidrómetro) .....	127
3.1.5	Programación de Tiempos de Riego .....	129
3.1.5.1	Riego Emergente .....	129
3.1.5.2	Riego Automático .....	131
3.1.5.3	Modos de Operación.....	131
3.1.5.3.1	Primera Ventana para Ingreso de Datos .....	131
3.1.5.3.2	Segunda Ventana para Ingreso de Datos .....	135
3.1.5.3.3	Tercera Ventana para Ingreso de Datos .....	143
3.1.5.3.4	Cuarta Ventana: Ejecución de Riego Automático .....	148
3.1.6	Tiempo de Seguridad (OFF DELAY) para el Correcto Funcionamiento de la Bomba Principal .....	152
3.2	Diseño del Software de Usuario para Temporización de Riego.....	154
3.2.1	Ajuste de Tiempo.....	155
3.2.2	Test.....	156
3.2.2.1	Test del Sensor.....	156
3.2.2.2	Test de las Válvulas.....	157
3.2.3	Calibración del Hidrómetro.....	158
3.2.4	Programar Riego.....	159
3.2.4.1	Riego Emergente.....	160
3.2.4.2	Riego Automático.....	160
3.2.4.2.1	Ingreso del Modo y Días de Riego.....	161
3.2.4.2.2	Ingreso de la Hora de Arranque, Hora de Parada y Tiempo o Volumen de Riego.....	161
3.2.4.2.3	Ingreso del Tiempo Cada Cuando se Ejecutará el Riego (Período).....	162
3.2.4.2.4	Confirmación de Parámetros.....	163
3.2.4.2.5	Ejecución de Riego.....	164
3.2.4.2.6	Opción Stop.....	165

## CAPITULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1	Pruebas Iniciales .....	166
4.1.1	Pruebas para "Ajuste de Tiempo" .....	166
4.1.2	Pruebas para "Test" y "Calibrar Hidrómetro" .....	168
4.1.3	Pruebas para "Programación de Riego" .....	171
4.1.3.1	Pruebas para Riego Emergente .....	172
4.1.3.2	Pruebas para Riego Automático .....	174
4.2	Pruebas en Campo .....	187
4.2.1	Bancos de Enraizamiento .....	187
4.2.2	Programación de Riego .....	188
4.2.2.1	Primera Semana: Riego en Modo Cíclico y Semanal .....	188
4.2.2.2	Segunda y Tercera Semanas: Riego en Modo Windows y Semanal .....	189
4.2.2.3	Cuarta Semana: Riego en modo Windows y Semanal .....	190

## CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	192
5.2	Recomendaciones.....	193

BIBLIOGRAFÍA.....	196
-------------------	-----

## ANEXOS

ANEXO A: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ANEXO B: MANUAL DEL USUARIO.

## RESUMEN

En este proyecto se presenta el diseño y construcción de un Temporizador Programable para Invernaderos en base a un Microcontrolador PIC, para automatizar el tiempo o volumen de riego con el fin de solventar las necesidades de riego en los cultivos y permitir la optimización de la productividad de los mismos.

En primera instancia, en el Capítulo 1, se definen las características más relevantes del temporizador, necesarias para automatizar tiempos o volúmenes de riego en cultivos. Se describe de manera resumida los tipos de riego y toda la teoría referente a ellos.

Luego se presenta en el Capítulo 2, el diseño de hardware de la manera más simple y completa posible, para que permita realizar ampliaciones en trabajos posteriores. Se ha diseñado un equipo modular a fin de darle un matiz didáctico y a la vez permitir reemplazar algunos elementos sin problema. Para este fin se ha utilizado únicamente elementos que se pueden encontrar en el mercado local.

En el Capítulo 3, se encuentra el software para programar el microcontrolador PIC; se utilizó MPLAB™ IDE 5.50, un programa que permite realizar aplicaciones en Assembler para microcontroladores de la familia PICmicro™, amigable si lo comparamos con versiones anteriores de esta serie de programas. El software para el usuario se lo ha elaborado de tal manera que puede ser flexible y entendible para el usuario al establecer programación por ventanas pudiendo entrar o salir de ellas con facilidad.

En el Capítulo 4, se describe una aplicación con el Temporizador Programable con el fin de analizar y verificar su correcto funcionamiento, en especial del cumplimiento de la programación de riego previamente establecida; para esto, el Temporizador Programable fue implementado en la Hacienda "La Piganta" ubicada en el sector de "San José de Minas" al Noreste de la Provincia de Pichincha al Norte de Ecuador. El Temporizador cumplió perfectamente su misión de automatizar tiempos y volúmenes de riego en un banco de enraizamiento de flores tipo "Million Stars" que es un espécimen de flor que se desarrolla en esta Hacienda.

Finalmente en el Capítulo 5, se mencionan los resultados obtenidos. Se concluye que los objetivos y alcances trazados para el desarrollo y ejecución de este Proyecto se han cumplido en su totalidad. Se recomienda continuar con el trabajo aquí empezado o con otros trabajos similares, ya que la agricultura ecuatoriana es un campo sin explotar en lo que a automatización se refiere.

## PRESENTACIÓN

En las últimas décadas, el desarrollo tecnológico y científico ha permitido crear la infraestructura apropiada para optimizar el riego orientado a las necesidades de cada región, producto, clima, agricultor, etc. El perfeccionamiento de los sistemas de bombeo para dotar al agua de presión, el mejor conocimiento del comportamiento del agua, el desarrollo de las técnicas de cultivo, el estudio y conocimiento de las necesidades de agua de los cultivos y en general una mejor comprensión del ciclo del agua, han permitido la creación de nuevas técnicas de riego que no se han difundido y explotado en su totalidad en nuestro país.

Hoy en día, la Agricultura de Regadío\* genera una producción final muy superior al del resto de los sistemas agrícolas convencionales aún cuando la superficie de cultivo regada sea muy inferior. Así mismo, la actividad empresarial relacionada con el regadío es ingente, contando con áreas tan dispares como suministros de material de riegos, fertilizantes, fitosanitarios, transformación y comercialización de productos o asesoramiento agronómico, electromecánico e hidráulico. No debe dejarse de notar el efecto en el aspecto social, la generación de empleo y la redistribución de la población en torno a las zonas de regadío evitándose así el flujo migratorio de agricultores potenciales a la gran ciudad.

Por esto se ha creído conveniente presentar a la agroindustria ecuatoriana un equipo que sea capaz de automatizar los tiempos y volúmenes de riego con elementos electrónicos disponibles en nuestro medio; es un primer paso al desarrollo y explotación de procesos de automatización de riego agrícola que a la postre pueden lograr resultados económicos satisfactorios y procesos de automatización más completos.

---

\* Dícese Agricultura de Regadío a la aplicación y/o desarrollo de nuevas técnicas de riego.

La tesis pretende introducir en el mercado un Temporizador Programable para Invernaderos en base a Microcontrolador PIC, de programación sencilla, amigable y económico, para solucionar problemas de automatización de tiempos o volúmenes de riego.

El Temporizador dota riego en fechas, horarios, tiempos, y ciclos (repeticiones) previamente programados en base a una tarjeta electrónica cuyo elemento principal es un microprocesador PIC y un reloj que proporciona datos de horas, minutos, segundos y calendario en tiempo real (RTC). Opera 8 estaciones + válvula principal, da acceso a una programación independiente para cada estación que se adapta a las necesidades de riego en las diferentes etapas del cultivo, estos son: semanal cíclica y windows o con ventana horaria; además, acceso a riego emergente de 10 minutos diarios por cada estación. La hora de inicio de riego puede ser establecida para cada válvula con ciclos desde cada 1 minuto a 12 meses por estación. Una estación + válvula principal pueden operar simultáneamente, el resto de válvulas actuarán en secuencia. Posee una entrada de sensor normalmente abierta para manejo de riego por volumen, cualquier válvula puede ser controlada por el sensor. Tiene una batería de níquel metal recargable de 9V la que mantiene en memoria el calendario, la hora del reloj y los programas, a la vez que permite la programación mientras está desconectado a la red.

**CAPITULO 1**

**TIEMPOS DE RIEGO EN LA AGRICULTURA**

# CAPITULO 1

## TIEMPOS DE RIEGO EN LA AGRICULTURA\*

### INTRODUCCIÓN

Un factor muy importante en el desarrollo de sistemas de regadío es la programación del riego que consiste en determinar cuando se ha de regar y cuanta agua aplicar. Para esto es imprescindible conocer las características del cultivo, las características físicas del suelo y las condiciones climáticas de la zona.

Con la programación del riego se puede lograr una maximización de la producción, un notable incremento en la calidad de los productos, ahorro de abonos, de agua, etc.

La influencia del cultivo y su estado fenológico es importante ya que las necesidades hídricas dependerán del tipo de planta y de su estado de desarrollo. Así mismo, las raíces de un cultivo ocupan distintas profundidades en función de la fase de desarrollo, con lo que la cantidad de agua en distintas zonas debe variar acorde con el crecimiento.

Atendiendo al tipo de suelo se tendrán distintas capacidades para retener el agua por lo que las estrategias de riego serán diferentes. A esto se debe añadir que las necesidades de agua varían mucho en función del clima, la radiación solar, el viento, la precipitación, etc., por lo que se hace necesario conocer las características climáticas de la zona y del cultivo para programar adecuadamente los riegos.

Todo esto es aplicable a todos los cultivos, si bien algunos de ellos requieren prácticas de riego especiales. También hay que tener en cuenta las características específicas que un suelo pudiera tener. Por la gran variedad de casos que pueden presentarse, se desarrollará a continuación una programación genérica sin atender a casos particulares. Sin embargo es preciso tener en cuenta que la práctica del riego no es algo independiente sino que está íntimamente ligada al resto de las prácticas de cultivo en que éste se desarrolla.

---

\* FUENTE: "Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF), Goteo, Microaspersión y Exudación". FERNANDO PIZARRO. Ediciones Mundi Prensa. 1996. España. – <http://www.elriego.com>

## 1.1 RIEGO AGRÍCOLA

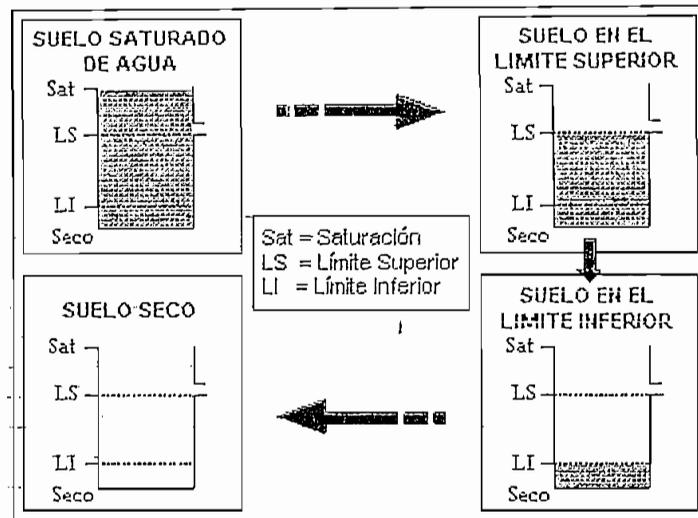
Regar una planta o cultivo es dotarle de agua, la que en gran parte hace posible su crecimiento y desarrollo. Un riego adecuado consiste en aplicar la cantidad justa de agua para cubrir las necesidades del cultivo y a la vez evitar toda otra clase de pérdidas. Cuando el riego es excesivo se producen pérdidas por percolación (movimiento del agua por debajo de las raíces del cultivo, lo cual la hace inaccesible a éste). Una aplicación inferior a la adecuada tampoco constituye un riego apropiado pues el cultivo no estará suficientemente abastecido de agua por lo que la desnutrición de las plantas y la disminución de la productividad del cultivo se harán presentes.

### 1.1.1 IMPORTANCIA DEL RIEGO AGRÍCOLA

La necesidad de incrementar la rentabilidad de la producción agrícola y las restricciones de uso de algunos suelos para el cultivo ha conllevado un aumento de la utilización de nuevas técnicas de riego. El cultivo en sentido estricto requiere que deba incorporarse la fertirrigación para satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo. La automatización de la fertirrigación es sólo una consecuencia de la automatización generalizada de la agricultura. Sin embargo, su importancia estriba en el hecho de que la introducción de la fertirrigación automática abre nuevas perspectivas en el manejo de los cultivos en cuanto a que se puede extender a técnicas culturales más tradicionales sobre suelo, puesto que la automatización permite controlar el sistema formado por la planta y su medio ambiente. De este modo, se ofrece la posibilidad de controlar las adiciones externas al sistema (agua, fertilizantes) y las aportaciones del sistema al medio, creando un sistema cerrado, no contaminante y regulado por la propia planta con el fin último de mejorar la productividad y con ello la rentabilidad de la explotación agrícola.

## 1.2 EL AGUA EN EL SUELO Y LA PLANTA

En función de la mayor o menor proporción de agua en los poros del suelo, y su disponibilidad para la planta, se definen cuatro niveles de humedad.



*Figura No. 1.1 Niveles de Contenido de Agua en el Suelo*

**Saturación (Sat):** Cuando todos los poros del suelo están llenos de agua.

**Límite Superior (LS):** La mayor cantidad de agua que el suelo puede llegar a almacenar sin drenar; se consigue dejando drenar el agua del suelo saturado. También se conoce como *capacidad de campo (CC)*.

**Límite Inferior (LI):** Si el suelo no recibe un nuevo aporte de agua; la evaporación de agua desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua almacenada disminuya hasta llegar a un nivel en el que las raíces no pueden extraer más cantidad. Aunque el suelo aún contiene cierta cantidad de agua, las plantas no pueden utilizarla. Se conoce también como *punto de marchitez o punto de marchitamiento permanente*.

**Suelo Seco:** Situación en que los poros del suelo están totalmente llenos de aire.

Las plantas pueden extraer el agua del suelo desde el límite superior hasta el límite inferior, que es lo que se conoce como *Intervalo de Humedad Disponible IDH* (también conocido como *agua útil*).

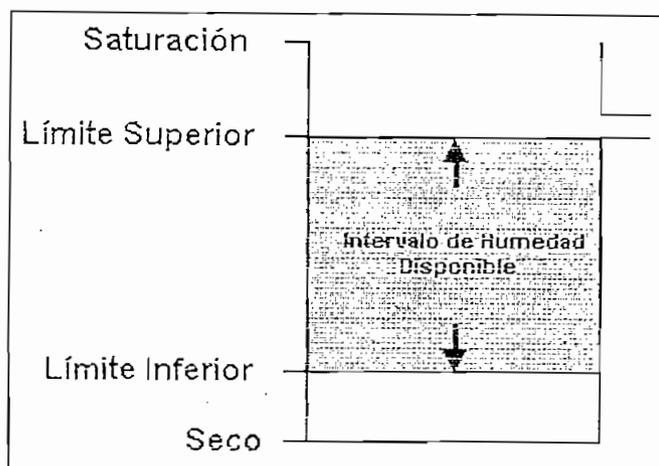


Figura No. 1.2 Intervalo de Humedad Disponible (IDH)

Para poder programar los riegos de forma eficaz, es necesario conocer el nivel de humedad o cantidad de agua que tiene el suelo y los valores tanto de límite superior como inferior.

**NOTA:** La experiencia dice que en las zonas secas, el agua limita con frecuencia los rendimientos y que siempre que no haya alguna acción negativa de otros factores en la producción vegetal, a medida que aumenta el régimen de humedad lo hacen también los rendimientos.

El incremento de rendimientos es más acusado en los cultivos de regadío. Estos cultivos suelen dar sus máximos rendimientos cuando se mantiene el suelo en un régimen de humedad constante por encima del 80% del agua utilizable. Si se supera la capacidad de campo, se producen descensos importantes de los rendimientos, lo que justifica la necesidad de drenaje.

En los cultivos de secano (cultivos que ocupan el terreno durante largos periodos de tiempo y no necesitan ser replantados después de cada cosecha) se ofrecen los máximos rendimientos en condiciones de humedad de suelo algo menores: a partir del 60% del agua útil habitualmente. Mayor contenido de agua no ofrece, a veces, incrementos significativos de rendimientos, ya que las especies en estos cultivos no están adaptadas a la utilización de grandes volúmenes de agua.

## 1.3 FUNDAMENTOS DEL RIEGO

### 1.3.1 MÉTODOS DE RIEGO

El uso de un método de riego u otro depende de numerosos factores, entre los que es preciso destacar los siguientes:

- La topografía del terreno y la forma de la parcela.
- Las características físicas del suelo, en particular las relativas a su capacidad para almacenar el agua de riego.
- Tipo de cultivo, del que es imprescindible conocer sus requerimientos de agua para generar producciones máximas, así como su comportamiento en situaciones de falta de agua.
- La disponibilidad de agua y el precio de la misma.
- La calidad del agua de riego.
- La disponibilidad de la mano de obra.
- El costo de las instalaciones de cada sistema de riego, tanto en lo que se refiere a inversión inicial como en la ejecución de los riegos y mantenimiento del sistema.
- El efecto en el medio ambiente.

A su vez, una vez elegido el sistema de riego, existen bastantes tipos de sistemas o variantes, cuya elección se realizará teniendo en cuenta aspectos más particulares.

En la actualidad son tres los métodos de riego utilizados:

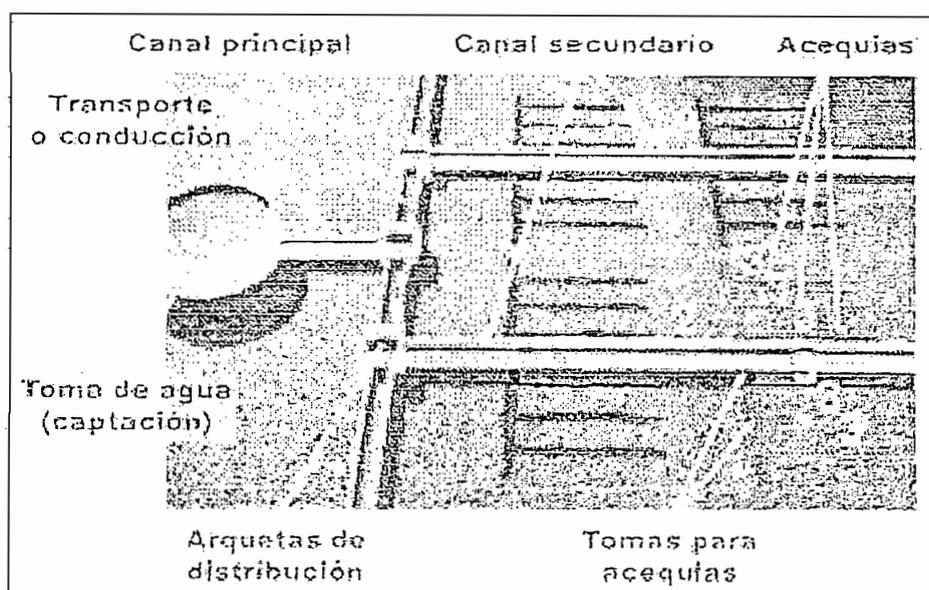
- Riego por superficie
- Riego por aspersión
- Riego localizado

#### 1.3.1.1 RIEGO POR SUPERFICIE

Son riegos muy conocidos que, en principio, no crean problemas al agricultor experto, pero que pueden producir pérdidas de abonos por lavados y arrastres, al no poder controlarse perfectamente las dosis de agua.

El agua se aplica directamente sobre la superficie del suelo por gravedad o escurrimiento. El propio suelo actúa como sistema de distribución dentro de la parcela desde la zona próxima al lugar de suministro, denominado *cabecera de la parcela*, hasta llegar a todos los puntos de ella. Finalmente el agua alcanza *la cola de la parcela*.

El agua puede llegar hasta la parcela por medio de cualquier sistema de distribución, bien por tuberías (normalmente a baja presión) o por una red de canales y acequias donde el agua circula por gravedad. Una vez que el agua está en la cabecera no es preciso dotarla de presión ya que se vierte sobre el suelo y discurre libremente, lo que supone evitar tener en la parcela un complejo sistema de tuberías y piezas especiales para distribuir el agua a presión así como un ahorro de energía ya que no se precisan sistemas de bombeo. Para distribuir el agua adecuadamente es muy frecuente disponer de surcos o caballones que favorezcan la circulación o escurrimiento del agua sobre el suelo, a lo que también contribuye la pendiente que suelen tener las parcelas de riego en la dirección de escurrimiento del agua, aun cuando existen parcelas a nivel en las que la pendiente es cero.

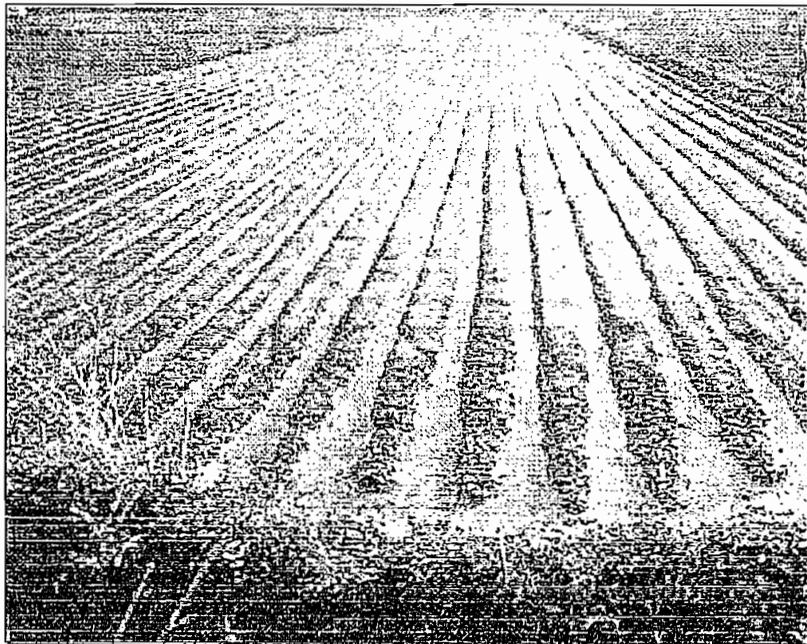


1. Red de distribución primaria 2. Red de distribución secundaria 3. Red de distribución terciaria

Figura No. 1.3 Sistema de Distribución

El riego por superficie es un método particularmente recomendable en terrenos llanos o con pendientes muy suaves en las que no sea preciso realizar una explanación del suelo, que es costosa y puede afectar negativamente al suelo. Es el método de riego menos costoso en instalación y mantenimiento, y una vez que el agua llega a la parcela no existe costo en la aplicación del agua. Es el sistema de riego que utiliza el agua de forma menos eficiente, aun cuando se realiza un adecuado diseño y manejo de los riegos.

En los sistemas de aplicación del agua por gravedad, el riego puede aplicarse casi a la totalidad de los cultivos, tanto anuales como leñosos, sembrados en línea (patata, maíz, algodón, etc.), en marco amplio (árboles) u ocupando la totalidad del terreno (alfalfa por ejemplo).



*Figura No. 1.4 Riego por Superficie*

**Inundación:** Se inunda completamente la superficie de la parcela. El agua tiene un movimiento descendente total. Solo es aconsejable en cultivos muy específicos (arroz).

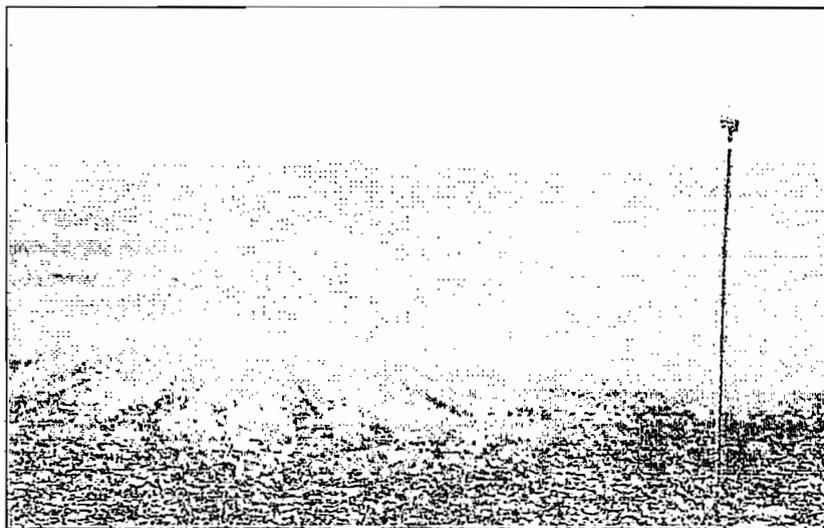
**Calles:** El agua tiene un movimiento descendente y lateral. Se reducen las pérdidas y arrastres de los abonos.

**Surcos:** El agua tiene un movimiento descendente y lateral hacia los lomos.

Es conviene aclarar que, tanto la técnica de riego por "calles" como por "surcos", si bien no son riegos totales, para que sean localizados, tiene que haber un porcentaje igual o superior al 33% del volumen de suelo que no se moje, para que no sufra los efectos de la inundación (asfixia y apelmazamiento, principalmente).

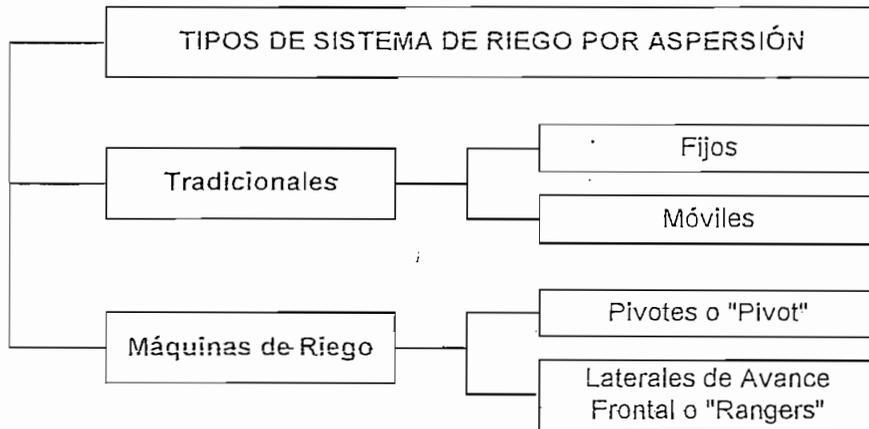
### 1.3.1.2 RIEGO POR ASPERSIÓN

Con este método el agua se aplica al suelo, en forma de lluvia, utilizando unos dispositivos de emisión de agua, denominados aspersores, que generan un chorro de agua pulverizada en gotas. El agua sale por los aspersores dotada de presión y llega hasta ellos a través de una red de tuberías cuya complejidad y longitud depende de la dimensión y la configuración de la parcela a regar. Por lo tanto una de las características fundamentales de este sistema es que es preciso dotar al agua de presión a la entrada de la parcela de riego por medio de un sistema de bombeo. La disposición de los aspersores se realiza de forma que se moje toda la superficie del suelo, de la forma más homogénea posible.

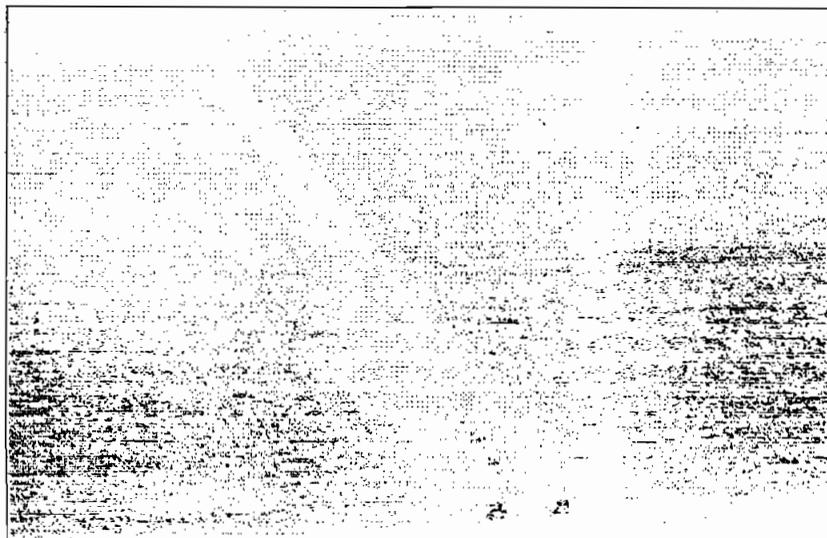


*Figura No.1.5 Riego por Aspersión*

Un sistema de riego tradicional por aspersión, está compuesto de tuberías principales (normalmente enterradas) y tomas de agua o hidrantes para la conexión de secundarias, ramales de aspersión y los aspersores. Todos o algunos de estos elementos pueden estar fijos en el campo, permanentes o solo durante la campaña de riego. Además también pueden ser completamente móviles y ser transportados desde un lugar a otro de la parcela.



En las tres últimas décadas se han desarrollado con gran éxito las denominadas máquinas de riego; que, basándose igualmente en la emisión de agua en forma de lluvia por medio de aspersores, los elementos de distribución del agua se desplazan sobre la parcela de manera automática. Aunque su precio es mayor, permiten una importante automatización del riego.



*Figura No. 1.6 Pívor*

#### 1.4.1.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ETr)

Para poder calcular la evapotranspiración (ET) se parte de un sistema ideado para este fin, consistente en medir el consumo de agua de una parcela de unas medidas concretas sembrada de hierba, con una altura de unos 10-15 cm, sin falta de agua y en pleno crecimiento, donde se ha colocado un instrumento de medida de la evaporación del agua. Al dato obtenido se le llama evapotranspiración de referencia (ETr).

Como el cultivo es siempre el mismo, será mayor o menor según sean las condiciones del clima (radiación solar, temperatura, humedad, viento, etc.) y del entorno (no es lo mismo calcular la ETr dentro de un invernadero que en el exterior).

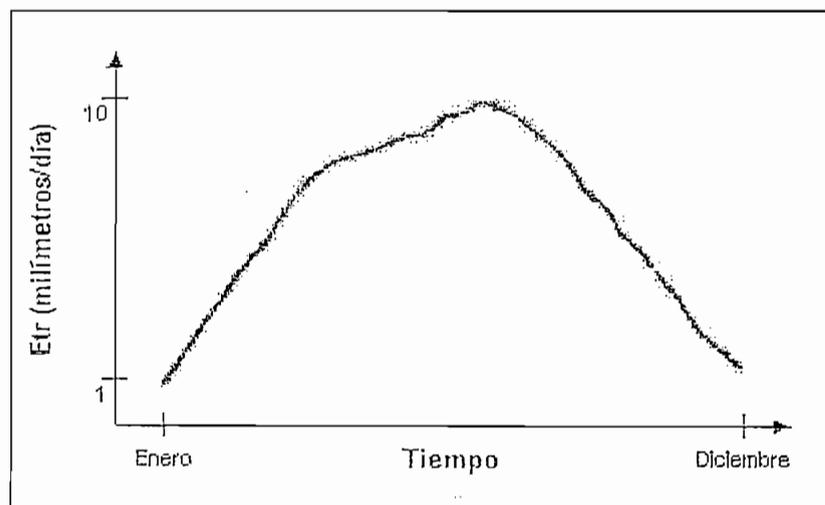


Figura No. 1.13 Evapotranspiración de Referencia

#### 1.4.1.2 COEFICIENTE DE CULTIVO.

El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

En los cultivos anuales normalmente se diferencian 4 etapas o fases de cultivo.

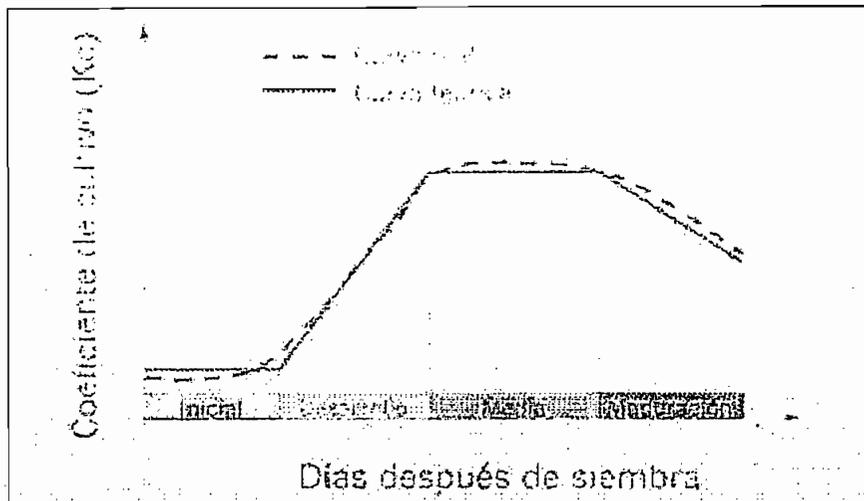


Figura No. 1.14 Curvas Real y Teórica del Coeficiente de Cultivo

**INICIAL:** Desde la siembra hasta un 10% de la cobertura del follaje o de la raíz en el suelo aproximadamente.

**DESARROLLO:** Desde el 10% de cobertura del follaje o de la raíz y durante el crecimiento activo de la planta.

**MEDIA:** Entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70-80% de cobertura máxima del follaje o de la raíz de cada cultivo.

**MADURACIÓN:** Desde madurez hasta recolección.

Como se observa en la *figura No. 1.14*,  $K_c$  comienza siendo pequeño y aumenta a medida que la planta cubre más el suelo. Los valores máximos de  $K_c$  se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrece durante la fase de maduración. Lo mejor es disponer de valores de  $K_c$  para cada cultivo obtenidos en la zona y para distintas fechas de siembras, pero en ausencia de esta información se pueden usar valores orientativos de  $K_c$  para varios *cultivos herbáceos* y hortícolas en los que aún siendo diferentes para cada cultivo, presentan valores bastante próximos a ellos.

A continuación, valores del coeficiente de cultivo  $K_c$  para distintos cultivos herbáceos y hortícolas:

VALORES DE $K_c$ PARA CULTIVOS HERBACEOS Y HORTICOLAS				
PRODUCTO CULTIVADO	FASE DEL CULTIVO			
	Inicial	Desarrollo	Media	Maduración
Algodón	0,45	0,75	1,15	0,75
Berenjena	0,45	0,75	1,15	0,80
Cebada	0,35	0,75	1,15	0,45
Girasol	0,35	0,60	1,15	0,55
Lechuga	0,45	0,80	1,00	0,90
Maíz	0,40	0,75	1,15	0,70
Melón	0,40	0,75	1,00	0,75
Patata	0,45	0,75	1,15	0,85
Pimiento	0,35	0,70	1,05	0,90
Remolacha	0,45	0,80	1,15	0,80
Tabaco	0,35	0,75	1,10	0,90
Tomate	0,45	0,75	1,15	0,80
Trigo	0,35	0,75	1,15	0,45
Zanahoria	0,45	0,75	1,05	0,90

Tabla No. 1.1 Valores de  $K_c$  para Cultivos Herbáceos y Hortícolas

Para *cultivos leñosos permanentes*, los coeficientes de cultivo suelen venir expresados por meses y usualmente en función del grado de cobertura del suelo (que indica el porcentaje de superficie de suelo que ocupa la masa arbórea).

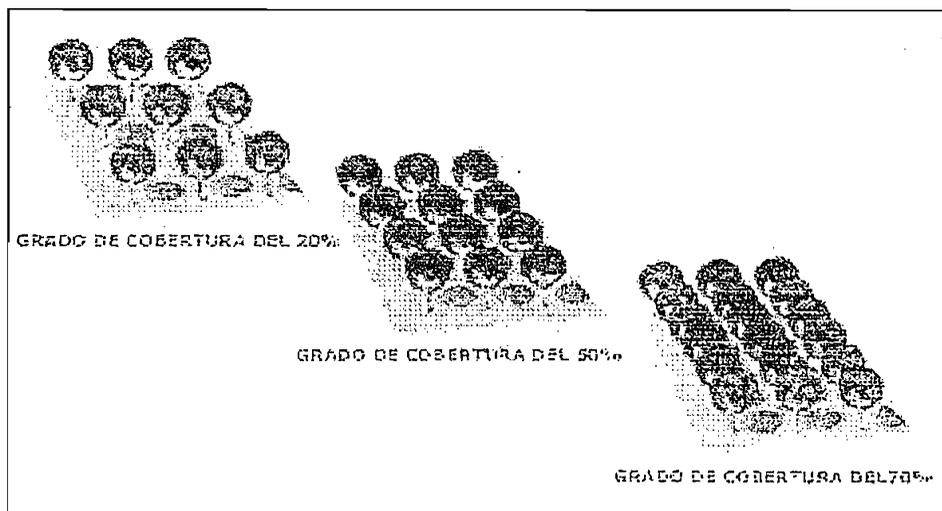


Figura No. 1.15 Grados de Cobertura del Suelo en Cultivos Leñosos

VALORES DE Kc PARA CITRICOS SIN CUBIERTA VEGETAL												
Grado de cobertura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
> 70%	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,55	0,55
50% aprox.	0,45	0,45	0,50	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,50	0,50
< 20%	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40

VALORES DE Kc PARA FRUTALES DE HOJA CADUCA SIN CUBIERTA VEGETAL												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Manzano, cerezo	-	-	-	0,40	0,60	0,85	1,00	1,00	0,95	0,70	-	-
Melocotonero, peral	-	-	-	0,40	0,55	0,75	0,90	0,90	0,70	0,65	-	-
Ciruelo albaricoque	-	-	-	0,40	0,55	0,75	0,90	0,90	0,70	0,65	-	-

VALORES DE Kc PARA OTROS CULTIVOS LEÑOSOS												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Olivar	0,50	0,50	0,65	0,60	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,60	0,65	0,50
Vid	-	-	-	0,45	0,60	0,70	0,70	0,70	0,65	0,50	0,30	-

Tabla No. 1.2 Valores del Coeficiente de Cultivo Kc para distintos Cultivos Leñosos

En caso de que exista algún cultivo implantado entre las filas de los árboles, los coeficientes de cultivo aumentarían debido al consumo que tal cultivo implica. Ocurriría lo mismo si existieran malas hierbas.

#### 1.4.2 EL AGUA DEL RIEGO EN RELACIÓN CON EL SUELO

Antes de calcular el agua que se va a aportar con el riego, se debe conocer la profundidad del suelo ocupada por las raíces. A continuación se muestran algunas profundidades máximas de raíces para algunas especies.

Cultivo	Prof. (metros)	Cultivo	Prof. (metros)	Cultivo	Prof. (metros)
Aguacate	0,8 - 1,2	Col y coliflor	0,6	Patata	0,6 - 0,9
Albaricoque	0,6 - 1,4	Espárrago	1,2 - 1,8	Pepino	0,4 - 0,6
Alcachofa	0,6 - 0,9	Espinaca	0,4 - 0,6	Peral	0,6 - 1,2
Alfalfa	1,2 - 1,8	Fresa	0,3 - 0,5	Pimiento	0,4 - 0,9
Algodón	0,6 - 1,8	Girasol	1,5 - 2,5	Remolacha	0,6 - 1,2
Almendro	0,6 - 1,2	Guisantes	0,4 - 0,8	Soja	0,6 - 1,0
Avena	0,6 - 1,1	Lechuga	0,2 - 0,5	Sorgo	0,6 - 0,9
Berenjena	0,5 - 0,6	Leguminosas	0,5 - 1,0	Tabaco	0,5 - 0,9
Cebada	0,9 - 1,1	Maíz grano	0,6 - 1,2	Tomate	0,6 - 1,2
Cebolla	0,3 - 0,6	Manzano	0,8 - 1,4	Trigo	0,8 - 1,1
Cerezo	0,8 - 1,2	Melocotón	0,6 - 1,2	Vid	0,8 - 1,1
Ciruelo	0,8 - 1,2	Melón	0,6 - 1,1	Zanahoria	0,4 - 0,6
Cítricos	0,9 - 1,5	Olivo	0,9 - 1,5		

Tabla No. 1.3 Profundidad de Raíces Media de Diferentes Cultivos

En algunas ocasiones cuando las condiciones del suelo y agua son favorables, se han encontrado valores mayores.

La cantidad de agua del suelo que teóricamente está a disposición para las plantas viene determinado por el *Intervalo de Humedad Disponible (IDH)* también llamada *Agua Útil* (diferencia entre el límite superior (capacidad de campo) e inferior de humedad (punto de marchitez)).

Al límite superior también se le conoce como capacidad de campo. Si se satura un suelo, la cantidad de agua que queda retenida en los poros sin ser arrastrada por el peso de la gravedad, es la *Capacidad de Campo* o *Capacidad de Retención*. La capacidad de campo se valora por el porcentaje en volumen de agua existente con respecto al suelo seco. Según diferentes autores alcanza los siguientes valores:

TIPO DE SUELO	CAPACIDAD DE CAMPO (%)
Suelos arenosos	6%
Suelos Ligeros	10 - 15%
Suelos medios	20 - 25%
Suelos pesados	35 - 40%

*Tabla No. 1.4 Capacidad de Campo o Retención*

Al límite inferior también se le conoce como *Punto de Marchitez* (el esfuerzo de absorción de las raíces no es suficiente para competir con las fuerzas de retención que ejercen las partículas del suelo y las sales existentes).

El agua que aún queda, pero que no es capaz de aprovechar la planta, se llama *Agua Inerte* o *Agua Hígroscópica* y, en general, tiene los siguientes valores en volumen con respecto a la tierra seca:

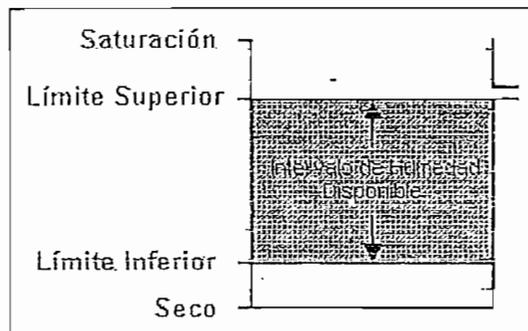
TIPO DE SUELO	VOLUMEN RETENIDO RESPECTO A TIERRA SECA (%)
Suelos arenosos	2%
Suelos Ligeros	6%
Suelos medios	9%
Suelos pesados	18%

*Tabla No. 1.5 Volumen Retenido respecto a Tierra Seca*

El valor del *Intervalo de Humedad Disponible (IDH) (Agua Útil)* es diferente para cada suelo dependiendo básicamente de su textura. Algunos valores orientativos son los siguientes:

TEXTURA	IDH (mm de agua por cada m de profundidad del suelo)
Arenoso	70 - 100
Franco - arenoso	90 - 150
Franco	140 - 190
Franco - arcilloso	170 - 220
Arcilloso	200 - 250

*Tabla No. 1.6 Intervalo de Humedad Disponible para cada Textura de Suelo*  
*Se nota claramente que el valor de IDH varía según la textura del suelo.*



*Figura No. 1.16 Intervalo de Humedad Disponible (IDH)*

Esto quiere decir que en un suelo franco-arcilloso con un Intervalo de Humedad Disponible de 185 mm de agua por metro de profundidad de suelo, en un cultivo de algodón (por ejemplo) que tiene una profundidad de raíces de 0,9 m., la cantidad de agua teóricamente disponible corresponde a una lámina de agua de altura:

**Ejemplo:**

Suelo = franco – arcilloso

Intervalo de humedad disponible (IDH) = 185 mm/m

Cultivo = algodón

Profundidad de raíces = 0.9 m

Cantidad de agua teóricamente disponible:

$$\text{IDH} \times \text{profundidad de raíces} = 185 \times 0.9 = 166.5 \text{ mm}$$

*Fórmula No. 1.2 Cantidad de Agua (teóricamente) Disponible*

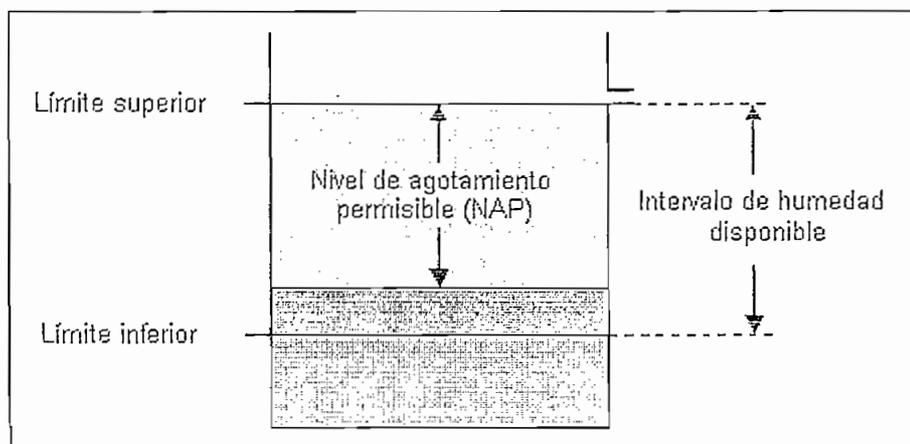
Como se ve, el agua útil o intervalo de humedad disponible es la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez y su valor referido a % en volumen de agua con respecto al suelo seco se deduce de las tablas anteriores:

TIPO DE SUELO	IDH (%)
Suelos arenosos	4%
Suelos Ligeros	5 al 9%
Suelos medios	10 al 15%
Suelos pesados	17 al 22%

*Tabla No. 1.7 Agua Útil o IDH resultante*

Aunque las plantas pueden extraer agua del suelo hasta un nivel de humedad que corresponde con el límite inferior (punto de marchitamiento), existe un nivel de humedad entre el límite superior y el inferior a partir del cual las raíces encuentran dificultades para extraer el agua (aumenta el esfuerzo metabólico por la succión), produciéndose una disminución de la transpiración que implican pérdidas de producción (menor vegetación y frutos más pequeños). A este nivel se le denomina *Nivel de Agotamiento Permisible (NAP)* y normalmente se representa como una fracción del Intervalo de Humedad Disponible.

VALORES MAS UTILIZADOS EN PROGRAMACIÓN: entre 0.6 y 0.8  
EN CULTIVOS DE ALTO VALOR ECONÓMICO NAP < 0.5



*Figura No. 1.17 Nivel de Agotamiento Permisible (NAP)*

Cuando se programa el riego, normalmente se emplean valores entre 0,6 y 0,8 (un valor de 0,65 se considera muy adecuado), pero en cultivos con alto valor económico, como por ejemplo las hortalizas, no debe usarse un valor de NAP mayor de 0,5 para asegurar que el cultivo no sufrirá en ningún momento carencia de agua que repercutiría directamente en la producción.

*La humedad correspondiente al Nivel de Agotamiento Permisible (NAP) es la cantidad de agua que el suelo debería tener siempre, como mínimo, para que la producción fuera siempre la máxima posible.*

Para el caso del ejemplo anterior, la humedad del suelo (expresada como altura de la lámina de agua) que corresponde a un nivel de agotamiento Permisible de 0,65, será:

### **Ejemplo**

Suelo: franco – arcilloso.

Intervalo de humedad disponible (IDH) = 185 mm/m.

Cultivo: algodón.

Profundidad de raíces = 0.9 m.

Humedad del suelo (altura de lámina de agua) correspondiente a un NAP de 0,65:

$$\text{IDH} \times \text{profundidad de raíces} \times \text{NAP} = 185 \times 0,9 \times 0,65 = 108,2 \text{ mm}$$

*Fórmula No. 1.3 Humedad del Suelo (altura de lámina de agua)*

Si un suelo que tiene una humedad correspondiente al límite superior, a partir de ese momento la evapotranspiración comenzará a consumir agua, y esta se va agotando día a día. La cantidad de agua que va faltando con respecto al límite superior se denomina *Déficit de Agua en el Suelo (DAS)* y será mayor a medida que pasa el tiempo.

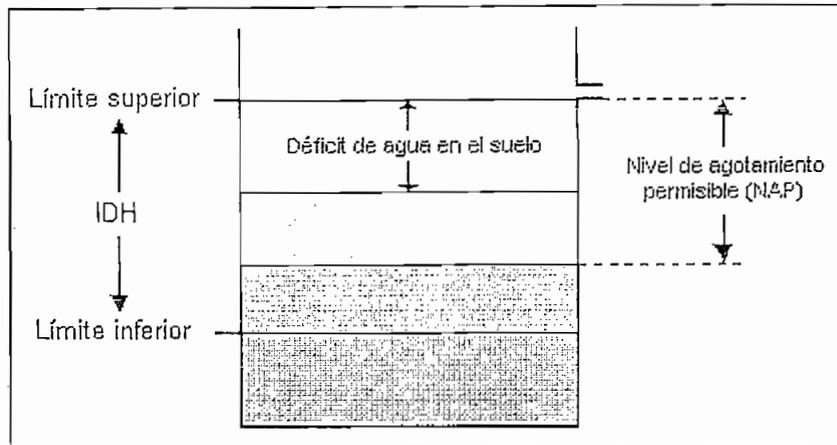


Figura No. 1.18 Déficit de Agua en el Suelo

#### 1.4.3 ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE RIEGO USANDO EL MÉTODO DEL BALANCE DE AGUA

El sistema formado por el suelo y el cultivo tiene unos aportes y unas salidas de agua. Sin tener en cuenta el riego, estas cantidades no son iguales, por lo que el contenido de humedad del suelo irá cambiando, quedando de manifiesto el papel del suelo como almacén de agua. Las entradas de agua pueden ser debidas a la lluvia (LL) o al riego (R). Por su parte, las salidas de agua se deberán a la evapotranspiración (ET), la escorrentía (S) y la filtración profunda (Fp).

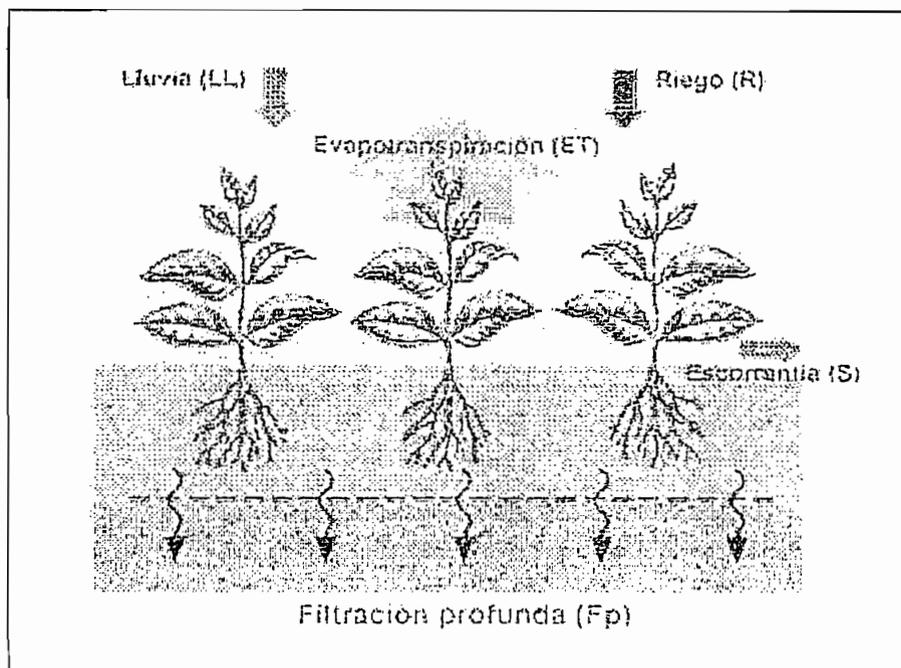
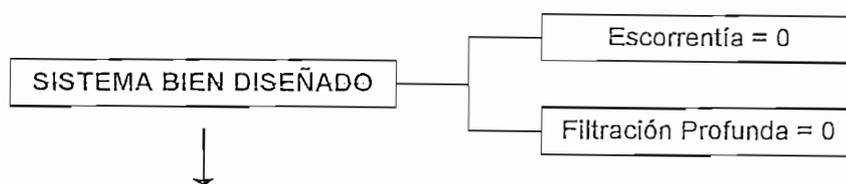


Figura No.1.19 Componentes del Balance de Agua en el Suelo

Se considera un sistema de riego bien diseñado aquel cuya escorrentía y filtración profunda es cero. De esta forma, la cantidad de agua que necesita el cultivo y se ha de aportar con el riego o "Necesidades Netas de Riego (Nm)" corresponderán a la diferencia entre la cantidad de agua que el conjunto suelo-planta pierde (la evapotranspiración) y el agua que se aporta de forma natural (la lluvia).

#### 1.4.3.1 NECESIDADES NETAS DE RIEGO



Necesidades netas de riego (Nn) = Evotranspiración (ET) - Lluvia (LL)

$$Nn = ET - LL$$

*Fórmula No. 1.4 Necesidades Netas de Riego*

Esta cantidad de agua, expresada en altura de lámina de agua por metro cuadrado de superficie de suelo, se denomina *lámina de agua requerida*. Por ejemplo, una lámina de agua requerida de 50 milímetros de agua corresponderá a:

$$50 \text{ milímetros} = 0,05 \text{ metros} = 0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 50 \text{ litros}/\text{m}^2 = 500.000 \text{ litros}/\text{ha} = 500 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Pero no todo el agua que se aporta al suelo es aprovechada por la planta (parte se pierde por escorrentía, filtración profunda). Se define como la "*eficiencia de aplicación del riego*" al porcentaje de agua que aprovechan las raíces con respecto del total aplicada. Su valor es diferente para cada método de riego, pudiendo ser éste por aspersión, superficie, riego localizado y dentro de cada uno de ellos distinto según cada sistema. A título orientativo se exponen los siguientes valores:

METODO DE RIEGO	EFICIENCIA DE APLICACIÓN
Riego por superficie	55 - 90 %
Riego por aspersión	65 - 90 %
Riego localizado	75 - 90 %

Tabla No. 1.8 Eficiencia de Aplicación ( $E_a$ ) esperada para distintos tipos de riego

Los valores más altos se producirán con un adecuado diseño y manejo de riego.

En riego localizado los valores más frecuentes se sitúan próximos al 90%.

Por lo tanto conociendo la eficiencia de aplicación se pueden determinar las *necesidades brutas ( $N_b$ )*, o sea, la cantidad real de agua que ha de aplicarse durante el riego para satisfacer las necesidades netas de riego. Se calculan utilizando una fórmula muy simple:

#### 1.4.3.2 NECESIDADES BRUTAS DE RIEGO

$$\text{Necesidades brutas de riego} = \frac{\text{Necesidades netas de riego}}{\text{Eficiencia de aplicación del riego}} \times 100$$

$$N_b = \frac{N_n}{E_a} \times 100$$

Fórmula No. 1.5 Necesidades Brutas de Riego

Ejemplo:

Las necesidades brutas de riego a aplicar con un sistema cuya eficiencia de aplicación es del 85%, sabiendo que las necesidades netas son de 50mm, serán:

$$\text{Necesidades brutas de riego} = \frac{\text{Necesidades netas de riego}}{\text{Eficiencia de aplicación del riego}} \times 100 = \frac{50}{85} \times 100 = 58.9 \text{ mm}$$

A la lámina de agua que supone la cantidad de agua aportada con las necesidades de riego brutas se llama *lámina aplicada*.

#### 1.4.4 ESTRATEGIAS DE RIEGO

Las estrategias de riego se pueden entender como criterios para decidir el momento de efectuar un riego y la cantidad de agua a aplicar.

Criterios para decidir:

- Momento de realizar los riegos
- Cantidad de agua a aplicar

Estrategias:

##### a) Regar cuando $DAS = NAP$

Un criterio general es aplicar las *Necesidades Brutas de Riego* ( $N_b$ ) cuando el *Déficit de Agua en el Suelo* ( $DAS$ ) sea igual al *Nivel de Agotamiento Permissible* ( $NAP$ ), teniendo en cuenta estrictamente el balance de agua (agua que se aporta al sistema suelo-planta menos agua que se extrae del sistema) es la estrategia más recomendable, ya que así se evitan problemas de extracción de agua y por tanto no habrá repercusiones en la producción final.

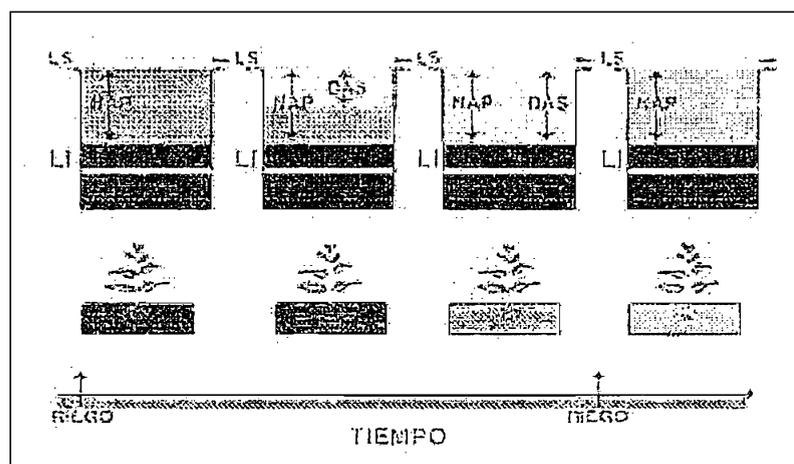


Figura No. 1.20 Estrategia de Riego (a): Regar cuando  $DAS = NAP$

b) Regar antes de que  $DAS = NAP$

Si el valor comercial del cultivo es muy alto, se asegurará de que las raíces de las plantas no tengan problemas en extraer el agua en ningún momento. Para ello se aplican las *Necesidades Brutas de Riego* antes de que el DAS alcance el NAP. Así, se aumenta el número de riegos, y dependiendo del método de riego empleado, su costo.

c) Cantidad fija cuando  $DAS = Nn$

En ocasiones es conveniente aplicar una cantidad de agua fija con los riegos, de manera que se aproveche al máximo el sistema de riego. Los sistemas de riego automatizados de riego por aspersión (por ejemplo el pivotante, más conocido como "pívot") es un claro ejemplo de aplicación de una cantidad fija, que depende de la velocidad a la que se desplace la maquina. En estos casos, el momento de realizar el riego es aquel en el que el déficit de agua en suelo iguala a las *Necesidades Netas (Nn)*, pero teniendo en cuenta que se aplicarán las necesidades netas.

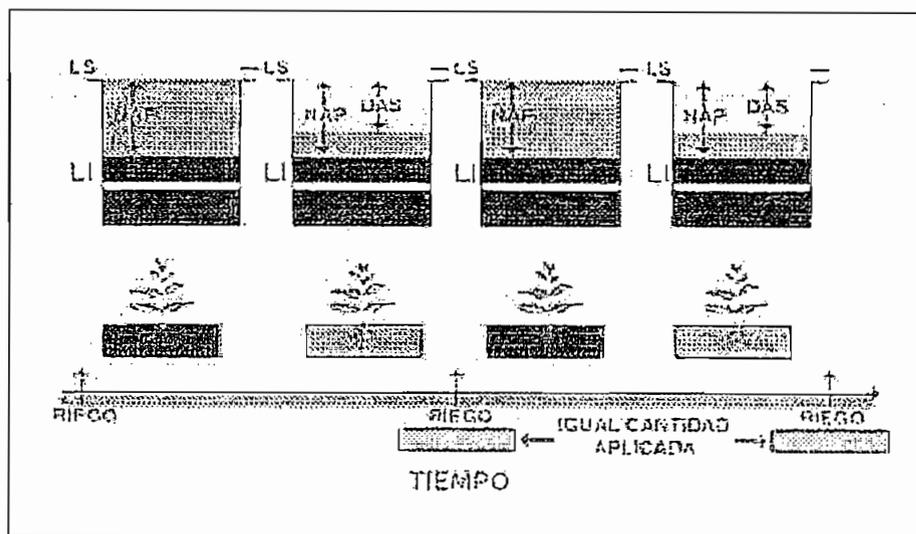


Figura No. 1.21 Estrategia de Riego (c): Regar cuando  $DAS = Nn$

#### d) Regar cuando llegue el turno

En numerosos sistemas de riego (fundamentalmente en riego por superficie) existen restricciones para elegir el momento del riego ya que están organizados por turnos en los que cada agricultor riega cuando le está permitido. En este caso puede ser que el déficit del agua en el suelo supere al nivel de agotamiento permisible. Lo más usual es que el agricultor procure aplicar el agua correspondiente a las necesidades brutas, es decir cargar el suelo de agua en previsión de que el turno de agua se pueda retrasar.

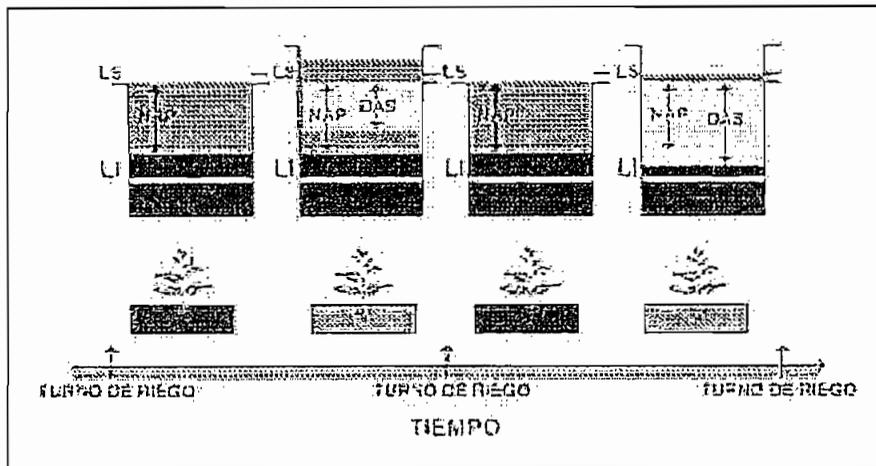


Figura No. 1.22 Estrategia de Riego (d): Regar por Turnos o Tiempo Fijo

Las estrategias anteriores son aplicables a necesidades brutas de agua. Aplicar cantidades mayores supone incrementar las pérdidas por filtración profunda o drenaje, mientras que aplicaciones inferiores disminuirían la evapotranspiración que incidiría negativamente en la producción.

#### 1.4.5 CALENDARIOS MEDIOS DE RIEGO

Las estrategias de riego son unos criterios generales, que se concretan elaborando un calendario medio de riegos en el que se precisan el momento de riego y la cantidad de agua que se aplica en cada uno de ellos.

Contando con los datos del cultivo, el suelo y el clima, se pueden establecer calendarios medios de riego asumiendo el caso más simple, en el que se supone que la lluvia es nula durante el ciclo del cultivo y que los valores de evapotranspiración de referencia son los de la media de los últimos años.

Se necesita por tanto, contar con los siguientes datos:

- Evapotranspiración de referencia (ET<sub>r</sub>) de la zona.
- Coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) del cultivo a regar en distintas fases del desarrollo.
- Profundidad radicular media en distintas fases del cultivo.
- Intervalo de humedad disponible en el suelo.
- Nivel de agotamiento permisible para el cultivo.
- Datos diversos del sistema de riego como por ejemplo la eficiencia.

Deberá elegirse una estrategia para determinar el criterio con el cual se calculará el momento de efectuar el riego. Usando parte de los datos anteriormente citados, se calculará el déficit de agua en el suelo y el nivel de agotamiento permisible que indicará el momento de riego, mientras que la cantidad de agua a aplicar dependerá del criterio elegido, aunque lo más frecuente es que se apliquen las necesidades brutas.

### **Ejemplo:**

Se desea elaborar un calendario medio de riegos para un cultivo de maíz en una finca con los siguientes datos:

Localidad: Maíz

Fecha de siembra: 1 de Mayo.

Eficiencia de aplicación del sistema de riego: 75%

Suelo: Franco con intervalo de humedad disponible de 150 milímetros por metro de profundidad.

Nivel de agotamiento permisible: 0,65

Profundidad media de las raíces: 0,5 m.

Se establece el criterio de regar cuando el déficit de agua en el suelo alcance el nivel de agotamiento permisible y aplicamos las necesidades brutas de riego.

El calendario final de riego es el siguiente:

### Calendario Resultante Final

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-may.	5,8	0,4	2,3	2	0,1	10	0
02-may.	5,8	0,4	2,3	5	0,1	10	0
03-may.	5,8	0,4	2,3	7	0,1	10	0
04-may.	5,8	0,4	2,3	9	0,3	29	0
05-may.	5,8	0,4	2,3	12	0,3	29	0
06-may.	5,8	0,4	2,3	14	0,3	29	0
07-may.	5,9	0,4	2,4	16	0,5	49	0
08-may.	5,9	0,4	2,4	19	0,5	49	0
09-may.	5,9	0,4	2,4	21	0,5	49	0
10-may.	5,9	0,4	2,4	23	0,5	49	0
11-may.	6,0	0,8	4,8	28	0,5	49	0
12-may.	6,0	0,8	4,8	33	0,5	49	0
13-may.	6,0	0,8	4,8	38	0,5	49	0
14-may.	6,0	0,8	4,8	43	0,5	49	0
15-may.	6,0	0,8	4,8	47	0,7	68	0
16-may.	6,0	0,8	4,8	52	0,7	68	0
17-may.	6,1	0,8	4,9	57	0,7	68	0
18-may.	6,1	0,8	4,9	62	0,7	68	0
19-may.	6,1	0,8	4,9	67	0,7	68	0
20-may. (riego)	6,1	0,8	4,9	72	0,7	68	91 (riego)

Tabla No. 1.9 Calendario Final Resultante

A continuación se explica como se ha desarrollado:

1. El primer paso es calcular la evapotranspiración diaria (en milímetros por día) usando la ETP y el coeficiente de cultivo Kc.

#### PRIMER PASO

Cálculo de la evapotranspiración diaria usando los datos de evapotranspiración de referencia y de coeficiente de cultivo, para ello aplica la fórmula No. 1.1, así:

$$ET = ETr \times Kc$$

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-may.	5,8	0,4	2,3	2	0,1	10	0
02-may.	5,8	0,4	2,3	5	0,1	10	0
03-may.	5,8	0,4	2,3	7	0,1	10	0

Para el día 2 de mayo:  $ET = 5.8 \times 0.4 = 2.3 \text{ mm/día}$ .

- El déficit de agua en el suelo se calcula acumulando la evapotranspiración que se produce cada día. Normalmente no se utilizan decimales y se indica el valor más próximo en milímetros.

### SEGUNDO PASO

Cálculo del déficit de agua en el suelo a partir de la evapotranspiración que se produce cada día, así:

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-may.	5,8	0,4	2,3	2	0,1	10	0
02-may.	5,8	0,4	2,3	5	0,1	10	0
03-may.	5,8	0,4	2,3	7	0,1	10	0
04-may.	5,8	0,4	2,3	9	0,3	29	0

Para el día 4 de mayo se han acumulado  $2.3 + 2.3 + 2.3 + 2.3 = 9.2 \text{ mm} = \text{DAS}$  que redondeamos a 9mm.

- Se calcula para cada profundidad radicular, cual es la cantidad de agua en el suelo (en mm de altura) que supone el nivel de agotamiento permisible.

### TERCER PASO

Cálculo de la cantidad de agua que supone el nivel de agotamiento permisible del suelo para cada profundidad radicular, así:

Fecha	ET <sub>r</sub> (mm/día)	K <sub>c</sub>	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
10-may.	5,9	0,4	2,4	23	0,5	49	0

Para una profundidad de 0.5 m:

$$IHD = 0.150$$

$$NAP = 0.65 \text{ de IHD}$$

$$\text{Prof.} = 0.5\text{m}$$

$$0,5\text{m (prof. raíces)} \times 0,150 \text{ (IHD)} \times 0,65 \text{ (NAP)} = 0,049\text{m.} = 49\text{mm}$$

4. Ahora para cada día se comprueba si el déficit de agua en el suelo es mayor o menor que el nivel de agotamiento permisible. En el momento que se supere, será el momento de regar. El día 10 de Mayo DAS = 23 mm Y NAP = 49 mm, es decir  $DAS < NAP$  por lo que no es necesario regar. El 20 de Mayo es el primer día donde  $DAS > NAP$  (DAS = 72 mm y el NAP = 68 mm) que nos indica que debemos dar un riego con las necesidades brutas de riego.

$$Nb = (Nn/Ea) \times 100 = (68/75) \times 100 = 91 \text{ milímetros}$$

### CUARTO PASO

Comprobar que cada día el déficit de agua del suelo es menor que el nivel de agotamiento permisible. En caso de que el déficit sea menor que el nivel de agotamiento permisible, habrá que regar.

Cálculo de la cantidad de agua que supone el nivel de agotamiento permisible del suelo para cada profundidad radicular, así:

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
10-may.	5,9	0,4	2,4	23	0,5	49	0
20-may. (riego)	6,1	0,8	4,9	72	0,7	68	91 (riego)

Día 10 de Mayo:

DAS = 23 mm

NAP = 49 mm



NO HAY QUE REGAR

Día 20 de Mayo:

DAS = 72 mm

NAP = 68 mm



HAY QUE REGAR



$$Nb = \frac{68}{75} \times 100 = 91 \text{ mm}$$

A partir del 20 de mayo el déficit vuelve a ser 0. Se comienza a calcular el nuevo déficit según la ETP que se produzca cada día. El proceso se lo hace de la misma manera hasta el final de la campaña. Es decir:

### Calendario Resultante I

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
01-may.	5,8	0,4	2,3	2	0,1	10	0
02-may.	5,8	0,4	2,3	5	0,1	10	0
03-may.	5,8	0,4	2,3	7	0,1	10	0
04-may.	5,8	0,4	2,3	9	0,3	29	0
05-may.	5,8	0,4	2,3	12	0,3	29	0
06-may.	5,8	0,4	2,3	14	0,3	29	0
07-may.	5,9	0,4	2,4	16	0,5	49	0
08-may.	5,9	0,4	2,4	19	0,5	49	0
09-may.	5,9	0,4	2,4	21	0,5	49	0
10-may.	5,9	0,4	2,4	23	0,5	49	0
11-may.	6,0	0,8	4,8	28	0,5	49	0
12-may.	6,0	0,8	4,8	33	0,5	49	0
13-may.	6,0	0,8	4,8	38	0,5	49	0
14-may.	6,0	0,8	4,8	43	0,5	49	0
15-may.	6,0	0,8	4,8	47	0,7	68	0
16-may.	6,0	0,8	4,8	52	0,7	68	0
17-may.	6,1	0,8	4,9	57	0,7	68	0
18-may.	6,1	0,8	4,9	62	0,7	68	0
19-may.	6,1	0,8	4,9	67	0,7	68	0
20-may. (riego)	6,1	0,8	4,9	72	0,7	68	91 (riego)

Tabla No. 1.10 Calendario Resultante I

### Calendario Resultante II y III

Fecha	Etr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
21-may.	6,1	0,80	4,9	5	0,7	68	0
22-may.	6,1	0,80	4,9	10	0,7	68	0
23-may.	6,1	0,80	4,9	15	0,7	68	0
24-may.	6,2	0,80	5,0	20	0,7	68	0
25-may.	6,2	0,80	5,0	25	0,7	68	0
26-may.	6,2	0,80	5,0	30	1,0	98	0
27-may.	6,2	0,80	5,0	34	1,0	98	0
28-may.	6,2	0,80	5,0	39	1,0	98	0
29-may.	6,2	1,15	7,1	47	1,0	98	0
30-may.	6,2	1,15	7,1	54	1,0	98	0
31-may.	6,3	1,15	7,2	61	1,0	98	0
01-jun.	6,3	1,15	7,2	68	1,0	98	0
02-jun.	6,3	1,15	7,2	75	1,0	98	0
03-jun.	6,4	1,15	7,4	83	1,0	98	0
04-jun.	6,4	1,15	7,4	90	1,0	98	0
05-jun.	6,4	1,15	7,4	98	1,0	98	131
(riego)							(riego)

Tabla No. 1.11 Calendario Resultante II

Fecha	Etr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
06-jun.	6,4	1,15	7,4	7	1,0	98	0
07-jun.	6,4	1,15	7,5	15	1,0	98	0
08-jun.	6,5	1,15	7,5	22	1,0	98	0
09-jun.	6,5	1,15	7,5	30	1,0	98	0
10-jun.	6,5	1,15	7,5	37	1,0	98	0
11-jun.	6,5	1,15	7,5	45	1,0	98	0
12-jun.	6,5	1,15	7,5	52	1,0	98	0
13-jun.	6,5	1,15	7,5	60	1,0	98	0
14-jun.	6,5	1,15	7,5	67	1,0	98	0
15-jun.	6,6	1,15	7,6	75	1,0	98	0
16-jun.	6,6	1,15	7,6	82	1,0	98	0
17-jun.	6,6	1,15	7,6	90	1,0	98	0
18-jun.	6,6	1,15	7,6	97	1,0	98	0
19-jun.	6,7	1,15	7,7	105	1,0	98	131
(riego)							(riego)

Tabla No. 1.12 Calendario Resultante III

## Calendario Resultante IV y V

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
20-jun.	6,7	1,15	7,7	8	1,0	98	0
21-jun.	6,7	1,15	7,7	15	1,0	98	0
22-jun.	6,7	1,15	7,7	23	1,2	117	0
23-jun.	6,7	1,15	7,7	31	1,2	117	0
24-jun.	6,7	1,15	7,7	39	1,2	117	0
25-jun.	6,8	1,15	7,8	46	1,2	117	0
26-jun.	6,8	1,15	7,8	54	1,2	117	0
27-jun.	6,8	1,15	7,8	62	1,2	117	0
28-jun.	6,8	1,15	7,8	70	1,2	117	0
29-jun.	6,8	1,15	7,8	78	1,2	117	0
30-jun.	6,8	1,15	7,8	85	1,2	117	0
01-jul.	6,8	1,15	7,8	93	1,2	117	0
02-jul.	6,8	1,15	7,8	101	1,2	117	0
03-jul.	6,8	1,15	7,8	109	1,2	117	0
04-jul.	6,7	1,15	7,7	117	1,2	117	156
(riego)							(riego)

Tabla No. 1.13 Calendario Resultante IV

Fecha	ETr (mm/día)	Kc	ET (mm/día)	DAS (mm)	Pr (metros)	NAP (mm)	Nb (mm)
05-jul.	6,7	1,15	7,7	8	1,2	117	0
06-jul.	6,7	1,15	7,7	15	1,2	117	0
07-jul.	6,7	1,15	7,7	23	1,2	117	0
08-jul.	6,6	1,15	7,6	31	1,2	117	0
09-jul.	6,6	1,15	7,6	38	1,2	117	0
10-jul.	6,6	1,15	7,6	46	1,2	117	0
11-jul.	6,6	1,15	7,6	53	1,2	117	0
12-jul.	6,6	1,15	7,6	61	1,2	117	0
13-jul.	6,6	1,15	7,6	69	1,2	117	0
14-jul.	6,5	1,15	7,5	76	1,2	117	0
(riego)							(riego)

Tabla No. 1.14 Calendario Resultante V

### 1.4.7 PROGRAMACIÓN DE RIEGOS. CÁLCULO DEL TIEMPO DE RIEGO

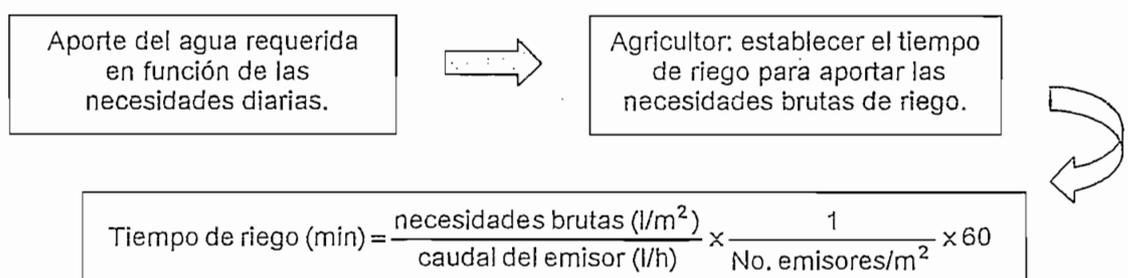
Se va a determinar el momento más idóneo para regar, estableciendo la cantidad de agua a aplicar de forma que se obtenga una eficiencia de aplicación aceptable y se consiga una buena producción y calidad de cultivo.

En el riego localizado, la importancia del suelo como almacén o reserva de agua para el cultivo es mucho menor que en el riego por superficie o aspersión. En estos casos se aporta el agua que cubra las necesidades diarias del cultivo, no se permite que el agua se almacene en el suelo y se vaya liberando poco a poco. El agricultor sólo tiene que establecer el tiempo de riego necesario para aportar las necesidades brutas de riego.

Para calcular el tiempo de riego previamente se debe conocer:

- Necesidades brutas de riego.
- Distancia entre emisores.
- Distancia entre laterales.
- Caudal de los emisores.

A partir de aquí se aplica la expresión:



*Fórmula No. 1.6 Tiempo de Riego*



$$\text{No. emisores/m}^2 = \frac{1}{\text{distancia emisores(m)} \times \text{distancia laterales(m)}}$$

*Fórmula No. 1.7 No. de emisores/m<sup>2</sup>*

En número de emisores por  $m^2$  se calcula muy fácilmente si se conoce la distancia entre los emisores y la distancia entre las tuberías laterales.

### Ejemplo:

Calcular el tiempo de riego de una instalación con los siguientes datos:

- Necesidades de agua del cultivo: 2.4 mm/día
- Distancias entre líneas de cultivo: 1.4 m
- Distancia entre plantas: 0.4 m
- Laterales por línea de plantas: 1
- Separación entre ramales: 0.4 m
- Caudal del emisor: 3L/h

$$\text{No. emisores/m}^2 = \frac{1}{\text{distancia emisores(m)} \times \text{distancia laterales(m)}} = \frac{1}{0.4 \times 1.2} = 2.08 \text{ emisores/m}^2$$

$$\text{Tiempo de riego (min)} = \frac{\text{necesidades brutas (l/m}^2\text{)}}{\text{caudal del emisor (l/h)}} \times \frac{1}{\text{No. emisores/m}^2} \times 60$$

$$\text{Tiempo de riego (min)} = \frac{2.4}{3} \times \frac{1}{2.08} \times 60 = 23 \text{ min}$$

Algunos cultivos como zanahorias, remolacha de mesa, clavel, rosas, etc., se cultivan en las llamadas banquetas o mesillas. En estos casos la separación entre las tuberías laterales no es uniforme.

Para calcular el número de emisores por  $m^2$ , se distribuyen los laterales como si tuvieran separaciones uniformes contando con la anchura de la banqueta y del pasillo como lo indica la *Figura No. 1.23*.

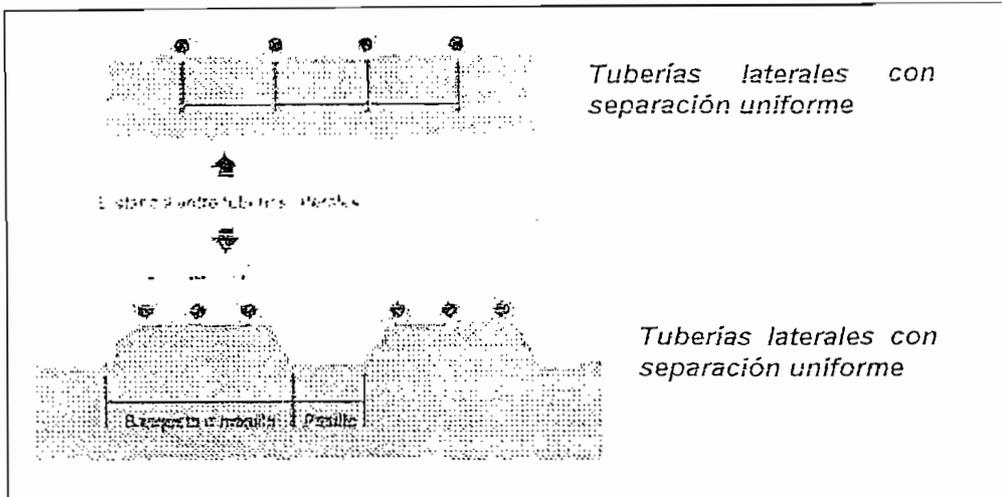
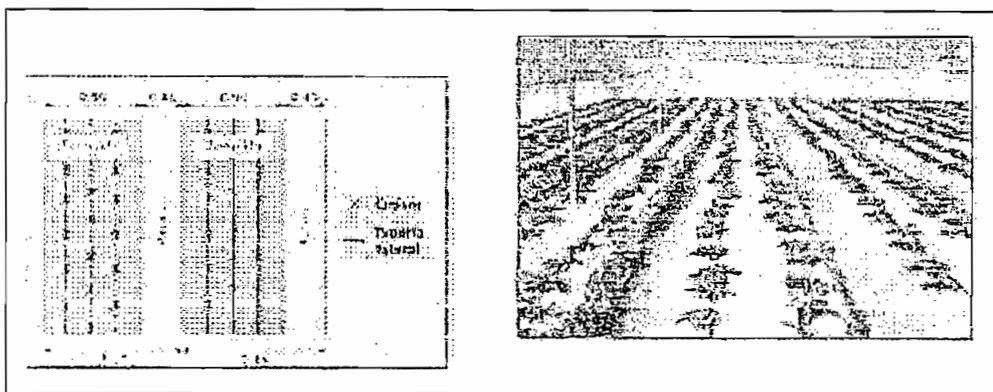


Figura No. 1.23 Distancia entre Tuberías Laterales

Ejemplo:

- Cultivo en banquetas de: 0.9m de ancho
- Ancho del pasillo: 0.45m
- No. Laterales por banqueta: 3

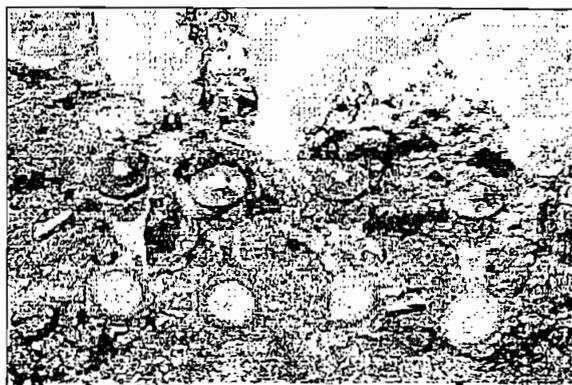


Para calcular la distancia entre laterales como si estuvieran repartidos uniformemente, hay que considerar la anchura de la banqueta y del pasillo:

$$135\text{m} / 3\text{ramales} = 0.45\text{m}$$

Otra forma de programar los riegos es mediante la toma de medidas indirectas del contenido del agua del suelo mediante la utilización de tensiómetros. Suelen instalarse por parejas, uno en la zona de las raíces (para detectar la escasez de

agua cuando se produce) y otro por debajo de ella (para detectar la infiltración profunda que nos estará indicando que se esta produciendo un exceso).



*Figura No. 1.25 Medidas Indirectas del Contenido del Agua en el Suelo*

Los tensiómetros se utilizan para comprobar si el volumen de agua aportado en el riego es el adecuado, se suelen instalar por parejas, en la zona de raíces y por debajo de ésta, para detectar falta de agua y pérdidas por filtración profunda respectivamente.

Al ser medidas indirectas del contenido del agua, se usan tensiómetros con mucha precaución. Su uso solo es completamente fiable en suelos arenosos y homogéneos. En cualquier caso indican cuando regar pero no cuanto regar.

## 1.5 RIEGO SUBTERRÁNEO

El riego localizado en cultivos anuales tiene el inconveniente de que la densa red de tuberías situada sobre el terreno dificulta muchas tareas agrícolas, sobre todo las que emplean maquinaria: labores, tratamientos, cosecha etc. Lo normal es que, para algunos de estos trabajos, se recojan los ramales portagoteros, lo que implica un importante costo en mano de obra y equipos de recogida y extendido, así como en almacenes o lugares donde guardar las tuberías. Por tanto, la idea de riego subterráneo es muy atractiva, ya que todas las tuberías, incluso las laterales, se mantienen enterrados, sin los inconvenientes citados.

La idea de riego localizado subterráneo no es reciente, al contrario, nace y se desarrolla al mismo tiempo que la idea de riego por goteo. En 1960 se desarrollan las primeras referencias prácticas, pero es a partir de 1980 cuando se introduce con mayor intensidad.

Actualmente el riego localizado subterráneo está ampliamente establecido en multitud de cultivos y superficies ajardinadas de todo el mundo. En EE.UU. hay más de 20.000 hectáreas, en España más de 4.000 y en el mundo en fase de expansión por las múltiples ventajas que ofrece y que serán expuestas a lo largo de este capítulo.

Los resultados obtenidos en más de 30 cultivos demuestran que la producción cuando se emplea riego por goteo subterráneo es igual o superior en todos los casos a cualquier otro sistema de riego y además requiere menos agua en la mayoría de los casos. La posibilidad de emplear agua residual depurada, especialmente en céspedes y zonas ajardinadas ofrece un gran potencial de expansión con desarrollo de líneas comerciales específicas.

### 1.5.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RIEGO SUBTERRANEO

Riego subterráneo es aquel en el que los laterales porta-emisores están enterrados en el suelo a una determinada profundidad, entre 5 y 50 cm., dependiendo de las características del cultivo (profundidad del sistema radicular) y de las características del suelo (capilaridad). En suelos arenosos se trabajará a profundidades menores que en suelos arcillosos. En cultivos de hortalizas con sistema radicular superficial se enterrará ligeramente los laterales, mientras que en cultivos leñosos podemos sobrepasar los 50 cm. Por otra parte, la instalación puede permanecer durante años o recogerse e instalarse en cada cultivo.

Actualmente se dispone en el mercado de tuberías con gotero integrado con calidad suficiente para garantizar su correcto y fiable funcionamiento en cualquier circunstancia y esto es algo que se puede contrastar diariamente en las innumerables instalaciones que se puede visitar. Los goteros autocompensantes permiten obtener una mayor uniformidad de riego.

El sistema debe ser adaptado y diseñado según las características propias del cultivo y el lugar donde se va a desarrollar, teniendo en cuenta también aspectos como la mecanización y otros.

## 1.6 AUTOMATIZACIÓN DE TIEMPOS DE RIEGO

El criterio para elegir el método de riego y el tiempo o volumen del mismo dependen de numerosos factores como: la topografía del terreno y la forma de la parcela; las características físicas del suelo, su capacidad para almacenar el agua de riego; el tipo de cultivo, sus requerimientos de agua para generar producciones máximas, así como su comportamiento en situaciones de falta de agua. Se analizan factores tales como: la disponibilidad, el precio y la calidad del agua de riego. Una vez elegido el sistema de riego y analizado las ventajas y desventajas que éste presenta, pueden existir variantes relacionadas con el clima, tipo de planta a desarrollar, factores socio económicos, la experiencia del agricultor, etc.

Actualmente existen temporizadores electrónicos o programadores que ejecutan el riego de acuerdo a las necesidades del cultivo.

Para proceder a automatizar los tiempos o volúmenes de riego se ha buscado un común denominador en el desarrollo de los cultivos con el fin de producir y desarrollar equipos que se adapten a cualquier cultivo. Los equipos automáticos para realizar riego lo hacen mediante un cronograma introducido por el operador, que es diferente de acuerdo al tipo y estado del cultivo, el que puede dividirse en 4 etapas:

### 1.6.1 FASE INICIAL

Desde la siembra hasta un 10% de la cobertura del follaje o raíz de la planta en el suelo aproximadamente. En este período el cultivo no necesita grandes cantidades de agua por lo que se recomienda regar todos o ciertos días en la semana (dependiendo del producto a cultivar) con un máximo de 5 sesiones de riego en cada día, hasta que se aproxime a la fase de desarrollo. A esta programación de riego se la denomina: *“PROGRAMACIÓN DE RIEGO SEMANAL”*, las sesiones pueden ser de una hora máximo o un segundo mínimo de tiempo de riego.

La automatización basada en programadores o temporizadores electrónicos, consistirá en ejecutar el riego en modo semanal, previamente programando en su memoria: 5 horas de inicio o arranque de riego, 5 tiempos o volúmenes de duración de riego; día(s) de la semana en donde se dotará de riego; siendo la programación y por ende la ejecución de riego independiente para cada sector o parcela cultivada, ajustándose de esta manera a las necesidades de riego en la fase inicial de un cultivo.

**Ejemplo:** “Regar el sector, la estación o parcela #4: los lunes, miércoles y viernes a las 7h00 (10 minutos de riego), a las 9h00 (20 minutos de riego), a las 11h00 (30 minutos de riego), a las 13h00 (20 minutos de riego) y a las 15h00 (10 minutos de riego).”

### 1.6.2 FASE DE DESARROLLO

Desde el 10% de cobertura del follaje o raíz de la planta en el suelo y durante el crecimiento activo de la planta. Es la fase más importante ya que del crecimiento de la planta depende el fruto que se obtenga de la misma; el cultivo necesita riego constante, por ello se riega cíclica e indefinidamente; como su nombre lo indica esta programación de riego se denomina: *“PROGRAMACIÓN DE RIEGO CÍCLICO”*.

Así mismo, la automatización basada en programadores o temporizadores electrónicos ejecutará el riego en modo cíclico previamente programando en su memoria: la hora de inicio o arranque de riego, el tiempo o volumen de duración de riego, el período de repetición de dicho tiempo o volumen de riego (cada cuando se repite el riego), generando de esta manera un ciclo de riego continuo, ajustándose a las necesidades de riego en la fase de desarrollo de un cultivo.

*Ejemplo:* “Regar el sector, la estación o parcela #1: a partir de las 7h00, 10 segundos de riego cada 1 minuto. Regar el sector o parcela #2: a partir de las 8h00, 20 segundos de riego cada 10 minutos.”

### 1.6.3 FASE MEDIA

Entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70 - 80% de cobertura máxima de follaje o raíz del cultivo. El fruto está casi desarrollado en su totalidad por lo que no es necesario dotarle de riego constante. En esta etapa se riega cíclicamente pero se establece una hora de arranque y una hora de parada formando así una ventana horaria; el tiempo de riego, de inicio se lo hace diariamente y cuando el fruto se ha desarrollado en su totalidad se baja las dosis de riego a días específicos de la semana, del mes o del año. Esta programación es conocida como *“PROGRAMACIÓN DE RIEGO WINDOWS O VENTANA HORARIA”*, es decir permite regar cíclicamente todos o ciertos días el tiempo definido por la ventana.

Siguiendo la lógica de riego, los programadores también cuentan con la programación de la ventana de riego mencionada anteriormente; es decir, previamente se programa la hora de arranque o inicio de riego, la duración de cada ciclo de riego, cada cuanto se riega o repite este ciclo (igual que el modo cíclico); además se aumenta una hora de parada haciendo que el riego no sea indefinido sino se riegue ciertas “ventanas” de tiempo o volumen de riego ajustándose así a las necesidades en la fase media de un cultivo.

*Ejemplo:* "Regar el sector, la estación o parcela #5: desde las 11h00 hasta las 19h00, 17 segundos de riego cada 1 minuto los días martes, jueves y sábado. Regar el sector o parcela #6: desde las 04h00 hasta las 20h00, 29 segundos de riego cada 5 minutos."

#### 1.6.4 FASE DE MADURACIÓN

Desde la madurez hasta la recolección. Dependiendo hacia donde se traslade el producto cultivado, es conveniente no dejarlo madurar en su totalidad, para ello, unos días antes de la cosecha los niveles de riego se decrementan notablemente regresando a modo de riego o programación semanal al igual que en la fase inicial.

Si en un cultivo se lleva un calendario medio de riego se deberá acomodar dicho calendario o cronograma de riego establecido por el agricultor a los modos de programación disponibles por el programador electrónico; esa información deberá ser previamente introducida al temporizador para la automatización del riego.

#### 1.7 TEMPORIZADORES DE RIEGO

En los últimos años, la necesidad de automatizar el riego para la optimización de los cultivos ha llevado al desarrollado de una infinidad de temporizadores o programadores de riego dirigidos a cultivos específicos como: jardines, estadios, campos de golf, cultivos bajo invernaderos, etc., con el fin de adaptarse a cronogramas de riego establecidos para solventar las necesidades de riego de los mismos.

A continuación se mencionan los temporizadores programables de riego más utilizados en el medio agroindustrial por su bajo costo, fácil montaje y mantenimiento y programación amigable.

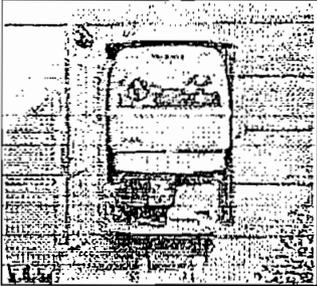
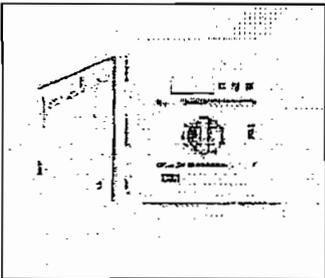
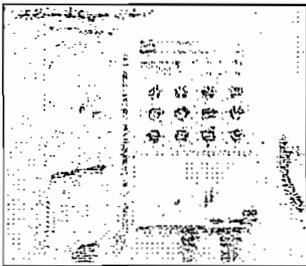
MARCA	MODELO	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN	PRECIO
TORO	GREENKEEPER 212	4 estaciones o sectores.		\$ 283,37
		4 arranques por programa.		
		Tiempos de riego de 1 a 14 h.		
Tres programas independientes para cada estación.				
Conector para sensores externos, con interruptor de anulación manual.				
Circuito interno incluido para control de arranque de bomba o válvula maestra.				
Programación de intervalo o calendario por cada programa.				
Ampliable con módulos de 2 estaciones, hasta 8 estaciones.				
Armario para colocación en intemperie opcional.				
18 estaciones o sectores.				
6 arranques por programa.				
Cuatro programas independientes para cada estación.				
Conector para sensores externos, con interrupción de anulación manual.				
Circuito interno incluido para el control de arranque de bomba principal.				
Pueden funcionar dos programas al mismo tiempo.				
Asignación individual de estación con o sin arranque de bomba.				
VISION II PLUS	6 estaciones o sectores.		\$ 369,84	
	3 arranques por programa.			
	Diseño electrónico que proporciona exactitud y fiabilidad de fácil programación.			
	Toda la programación está siempre a la vista.			
	Funciones de autodiagnóstico. Arranque manual por programa o estaciones.			
	Ajuste de tiempos de riego en %.			
	Diseño especial para facilitar la conexión de válvulas.			
	Indicador luminosos de funcionamiento.			
	Demora en la apertura de estaciones o anulación de bomba para zonas de goteo.			

Tabla No. 1.15.1 Temporizadores de Riego Disponibles en el Mercado

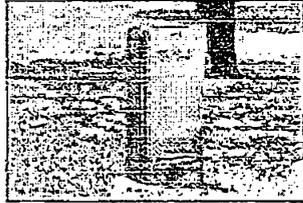
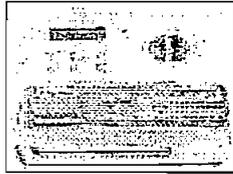
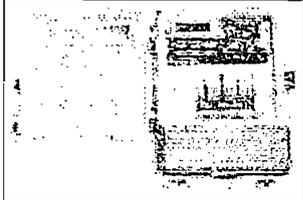
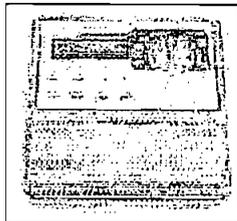
MARCA	MODELO	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN	PRECIO
TORO	NETWORK LTC PLUS	16 estaciones ampliables hasta 64.		\$ 2178,38
		16 programas, arranque manual, ajuste porcentual o cancelación.		
		Terminal activo para identificar válvulas.		
		Tiempo muerto de riegos de 0 a 50 minutos entre repeticiones.		
		Hasta 12 arranques por programa y día. Tiempo de riego desde 1 minuto hasta 8 horas y 59 minutos.		
		Ajuste global o por programas en satélite.		
		Terminal activo Toro patentado para facilitar La activación e identificación de las válvulas.		
		Proyectado para poderse unir a una central de tipo SITE PRO o TOUCH NET. Comunicación bidireccional entre central y satélites.		
		Hasta 2 programas ajenos al riego con el Software central.		
ORBIT	P - 102	6 estaciones o sectores.		\$ 351,66
		Hasta 8 arranques automáticos diarios.		
		Retraso manual de riego por lluvia de hasta 24 horas.		
		Adaptable a sistemas que requieran bomba.		
		Baterías que mantienen el programa en caso de corte de potencia eléctrica.		
	P - 104	8 estaciones o sectores.		\$ 326,18
		Programación en día y segundo específico.		
		Intervalos entre riegos de 1 a 28 días.		
		Posibilidad de riego desde 2 minuto a 8 horas por estación y por día.		
		Hasta 4 arranques automáticos diarios por programa.		
		Retraso manual de riego por lluvia de hasta 24 horas.		
	Riego automático de 10 minutos en caso barrido accidental de programas.			
P - 106	12 estaciones o sectores.		\$ 342,92	
	Programación en día y segundo específico. Intervalos entre riegos de 1 a 28 días.			
	Posibilidad de riego desde 1 minuto A 13 horas por estación y por día.			
	Hasta 8 arranques automáticos diarios.			
	Arranque de bomba principal.			
	Retraso de riego por lluvia de hasta 72 horas.			

Tabla No. 1.15.2 Temporizadores de Riego Disponibles en el Mercado

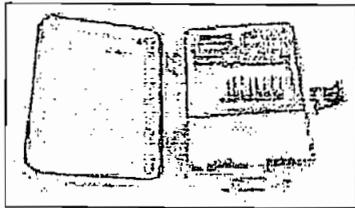
MARCA	MODELO	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN	PRECIO
ORBIT	P - 108	<p>8 estaciones o sectores.</p> <p>Programación en día y segundo específico.</p> <p>Intervalos entre riegos de 1 a 28 días.</p> <p>Posibilidad de riego desde 2 minuto a 8 horas por estación y por día.</p> <p>Hasta 4 arranques automáticos diarios por programa.</p> <p>Retraso manual de riego por lluvia de hasta 24 horas.</p> <p>Riego automático de 10 minutos en caso barrido accidental de programas.</p>		\$ 357,16
GALCON	YARDEN	<p>8 estaciones o sectores.</p> <p>Programa independiente para cada válvula.</p> <p>La primera hora de inicio puede ser establecida para cada válvula.</p> <p>Ciclos de riego desde 2 minutos a 30 días.</p> <p>Duración de riego desde 1 minuto a 12 horas por estación.</p> <p>Tres entradas de sensor.</p> <p>Cualquier válvula puede ser controlada por el sensor.</p> <p>Batería de respaldo para mantener en memoria la programación.</p>		\$ 195,78
EUROCONTROL	EC - 601	<p>6 estaciones o sectores.</p> <p>3 programas de arranque de riego múltiple.</p> <p>Opción con zonas de plantas diferentes y riegos repetitivos.</p> <p>Fácil de instalar y programar.</p> <p>Operación simple y manual, en modo manual con una sola tecla.</p>		\$ 297,98

Tabla No.1.15.3 Temporizadores de Riego Disponibles en el Mercado

En todos los equipos, cuando se habla de programación se refiere a modo de riego pudiendo ser semanal, cíclico o windows; para un modo de programación único se referirá a modo cíclico.

### 1.7.1 TEMPORIZADOR A DISEÑAR

En este proyecto se diseñará y construirá un Temporizador Programable para Invernaderos en base a Microcontrolador PIC, cuyo trabajo consistirá en automatizar tiempo o volumen de riego con las características de los temporizadores comerciales y la ventaja de tener a mano la circuitería y la programación del PIC con el fin de realizar versiones posteriores del mismo de acuerdo a las necesidades del usuario.

#### 1.7.1.1 CARACTERISTICAS DEL TEMPORIZADOR A DISEÑAR

El Temporizador Programable de Tiempo o Volumen de Riego que se diseñará y construirá será lo más flexible posible, de tal manera que permitirá automatizar tiempos o volúmenes de riego independientemente del método o programación de riego a elegir; se ajustará a estrategias de riego como las vistas en el presente capítulo y en general ejecutará una programación de tiempo o volumen de riego para adaptarse a cualquier método y cronograma de riego, cultivo, región y agricultor; además, si el cultivo requiere de dosis de elementos fertilizantes cada cierto tiempo (cada día, semana, mes, año) el Temporizador proveerá tiempos o volúmenes de riego en fechas y cantidades previamente programadas. Todo esto en un equipo compacto que se convertirá en una herramienta muy útil para el desarrollo de la agricultura moderna.

##### 1.7.1.1.1 CARACTERÍSTICAS DE HARDWARE

El diseño de hardware se lo hará de la manera más simple y completa posible para que permita realizar ampliaciones en trabajos posteriores. Se diseñará un equipo modular a fin de darle un matiz didáctico que permita que se reemplacen algunos elementos sin problema. Para este fin se utilizarán elementos que se pueden encontrar en el mercado local.

Las características más importantes en lo que a hardware se refiere se las presenta a continuación:

- El Temporizador dotará riego en fechas, horarios, tiempos, y ciclos (repeticiones) previamente programados en base a una tarjeta electrónica cuyo elemento principal es un microprocesador PIC y un reloj que proporciona datos de horas, minutos, segundos y calendario en tiempo real (RTC).
- La programación se realizará mediante dos periféricos: un teclado compuesto de tres pulsadores para el ingreso de datos y un display de cristal líquido para visualizar parámetros de programación.
- Operará 8 estaciones + válvula principal o bomba que se conectarán a la tarjeta y controlarán mediante relés de estado sólido activados y/o desactivados desde la tarjeta electrónica a diseñar.
- Tendrá una entrada de sensor normalmente abierta para manejo de riego por volumen; además, cualquier válvula podrá ser controlada por el sensor.
- Una batería de níquel recargable de 9V, mantendrá en memoria el calendario, la hora del reloj y los programas; a la vez que permitirá la programación mientras el Temporizador está desconectado a la red.

#### 1.7.1.1.2 CARACTERÍSTICAS DE SOFTWARE

El software se basará en diseñar un programa para el usuario, en base a un microcontrolador, que sea lo más amigable posible; que permita ingresar, visualizar y “manipular” tiempos, horarios, secuencias, ciclos de riego, requeridos por el producto a desarrollarse en un invernadero.

Las características más importantes en lo que a software se refiere se las presenta a continuación:

- Brindará acceso a una programación independiente para cada estación que se adaptará a las necesidades de riego en las diferentes etapas del cultivo, estos son: riego en modo semanal cíclico y windows o con ventana horaria.
- El usuario podrá acceder a programación de riego emergente de 10 minutos de riego por cada estación.
- Las horas de inicio de riego podrán ser establecida para cada válvula con ciclos desde cada 1 minuto a 12 meses por estación. Una estación + válvula principal podrán operar simultáneamente, el resto de válvulas actuarán en secuencia.
- La duración del riego podrá ser programada por tiempo o por volumen; en caso de ser por volumen, el usuario podrá acceder a un software para calibrar el hidrómetro que es el elemento que proporciona la información acerca de la cantidad de agua que se esta suministrando.
- En general, el software para el usuario se lo elaborará de tal manera que pueda ser flexible, entendible y permita establecer programación por ventanas, pudiendo entrar o salir de ellas con facilidad.

#### 1.7.1.2 LIMITACIONES DEL TEMPORIZADOR A DISEÑAR

Antes de describir las limitaciones del Temporizador Programable a diseñar hay que señalar y tener claro que el Temporizador Programable NO ES UN ELEMENTO INTELIGENTE, es un elemento automático; es decir, su funcionamiento dependerá de la información que el agricultor o usuario introduzca en él, para ejecutar dicha programación de riego.

El cálculo de: las necesidades de riego, calendarios medios de riego, tiempos y volúmenes de riego, el clima, la fertilidad de la zona geográfica, la influencia de la topología del terreno, el medio ambiente, y en general todo lo que pudiese influir para establecer las necesidades de riego estudiadas en este capítulo NO LAS

## CAPITULO 2

# DISEÑO DEL HARDWARE

## CAPITULO 2

### DISEÑO DEL HARDWARE

#### 2.1 CARACTERÍSTICAS DEL TEMPORIZADOR PROGRAMABLE

En este capítulo se exponen las características de diseño del Temporizador Programable construido, en función de los requerimientos y términos mencionados en el capítulo anterior, con el fin de cubrir las necesidades que impone la agricultura moderna.

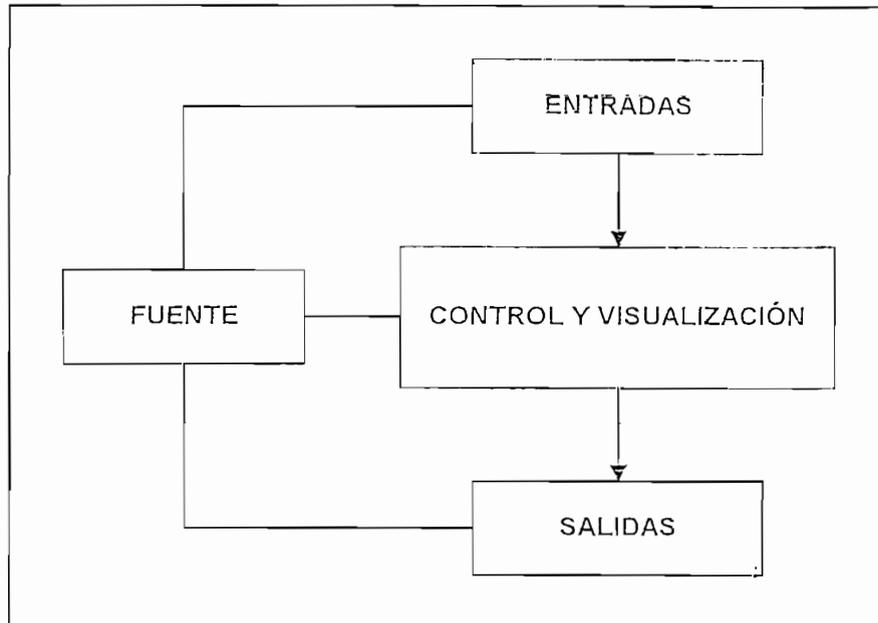
##### 2.1.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El Temporizador Programable diseñado, debe tener la flexibilidad y solvencia suficiente en lo que a software y hardware se refiere con el fin de ser introducido en la agricultura y así brindarle a ésta modernidad, optimización de procesos, ahorro de recursos, mejoramiento en la producción, etc. Para lograr este objetivo, el Temporizador debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Capacidad para soportar temperaturas ambientes elevadas (40 °C).
- Facilidad para realizar conexiones externas: entradas, salidas, fuente de alimentación.
- Ocupar el menor espacio físico posible.
- Facilidad para realizar el montaje donde sea necesario.
- Visualmente agradable.
- De fácil manejo (programación amigable).
- Sencillo, liviano, compacto.

##### 2.1.2 CONSIDERACIONES DE HARDWARE

El hardware del Temporizador Programable para Invernaderos se indica en el siguiente diagrama de bloques:



*Figura No. 2.1 Diagrama de Bloques simplificado del Temporizador Programable*

### 2.1.2.1 ETAPA DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN

La etapa de control y visualización contiene como elementos principales el microprocesador y circuitos adicionales que se encargarán de ejecutar las siguientes funciones:

- Procesamiento de las señales de entrada.
- Envío de acciones de control a las salidas.
- Almacenamiento de información (datos de tiempos y/o volúmenes) introducida por el usuario.
- Monitoreo del estado de las señales de entrada, salida, entrada / salida.
- Visualización de la información.
- Proporcionar los parámetros de control adecuados de manera que se pueda manejar su software sin problemas.
- Almacenamiento de toda la lógica de riego previamente preprogramada así como la lógica personalizada introducida por el usuario.
- Retener toda la información de manera indefinida hasta que el agricultor u operador introduzca una nueva lógica o secuencia de riego.

- Posibilidad de cambiar la información en el momento en que se requiera.
- Aislamiento de cualquier señal externa que pueda ocasionar daños ya que la pérdida de esta provocaría el daño total del control; debe estar protegida contra el calor excesivo y permitir su disipación de calor.

La etapa de control que se diseñará abarca en su interior todas las características arriba descritas, de las cuales se detallará su diseño en software y hardware a continuación. Se utilizará como elemento principal un microprocesador tipo PIC16F877.

#### 2.1.2.2 ENTRADAS FÍSICAS

El temporizador responderá a dos tipos de entrada que provienen de elementos pasivos y activos.

Los elementos pasivos son aquellos elementos que emiten una señal sin energía (voltaje o corriente), es decir solo emiten un estado (abierto o cerrado), llamadas también señales digitales (tipo On/Off, 0L/1L), estas señales provienen del teclado implementado en el Temporizador formado por tres pulsadores por donde ingresa la información para su funcionamiento.

Los elementos activos son los que emiten una señal con energía (voltaje o corriente) como es el caso de la señal proveniente del hidrómetro; una vez que ha fluido por él una cierta cantidad de agua o líquido, éste genera un pulso de voltaje que va dirigido hacia la tarjeta de control principal. Hay que considerar que esta señal de entrada se encuentra actuando con el medio externo exponiéndose a interferencias tales como: picos de corriente, variaciones de tensión, ruido, etc. que afectan el funcionamiento de cualquier equipo electrónico; de ahí la necesidad de aislar esta señal de entrada con la tarjeta de control principal.

La tarjeta a diseñarse tendrá tres entradas digitales pasivas e independientes para el teclado y una entrada activa opto aislada del hidrómetro.

### 2.1.2.3 SALIDAS FÍSICAS

La etapa de salida es la encargada de producir la comunicación con el proceso de riego, sus funciones serán:

- Enviar las señales emitidas desde la tarjeta de control hacia las señales físicas de salida.
- Indicar o visualizar cuando han sido activadas.
- Manejar cargas de control como son electroválvulas de fertirrigación (menores a 12 amperios) tanto en corriente continua como en corriente alterna.
- Retener el estado de las salidas para que la tarjeta de control pueda cumplir otras funciones.

La tarjeta tendrá 9 salidas digitales aisladas e independientes capaces de manejar las cargas de control (válvulas auxiliares y principal), con indicación visual del estado en que se encuentran. Se utilizarán relés como elementos de salida con un contacto normalmente abierto.

### 2.1.2.4 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

En vista de que en el mercado se pueden adquirir fácilmente adaptadores de voltaje, se deja a libre elección del usuario el adaptador a usar, con la única restricción de que el voltaje mínimo requerido por el equipo es de 12 VDC y un máximo de 30 VDC.

La fuente proveerá energía a todas las etapas que involucran el Temporizador; así, la etapa de entrada que de inicio toma el voltaje exterior cuenta con dos reguladores de voltaje, uno que fija el voltaje en 12 VDC para activar los relés de salida y otro que regula el voltaje a 5 VDC para alimentar todos los componentes o elementos que conforman la tarjeta, además de contar con una batería de respaldo y un fusible de protección.

## 2.2 DISEÑO DEL HARDWARE

El hardware es la parte física o palpable del equipo; para ello, el desarrollo de la electrónica brinda la oportunidad de acceder a elementos de pequeño tamaño, fácil manejo, bajo consumo de energía, funcionamiento garantizado, bajo costo, etc. Además de disponer en cualquier instante de sus especificaciones técnicas, manuales del usuario y en general todo tipo de ayuda en Internet.

El hardware del equipo está compuesto por las siguientes etapas:

- **ETAPA DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN**
  - Microcontrolador
  - Reloj en tiempo real
  - Memoria
  - Display de Cristal Líquido
  - Leds de visualización
- **ETAPA DE ENTRADAS**
  - Teclado
  - Circuito de aislamiento entre la señal proveniente del sensor activo y el microcontrolador
- **ETAPA DE SALIDAS**
  - Drivers o manejadores de relés
  - Relés de estado sólido
- **FUENTE DE ALIMENTACIÓN**
  - Reguladores de voltaje
  - Circuito de emergencia (respaldo para pérdida de energía)

La función y disposición de cada elemento está expuesta en el siguiente diagrama en bloques; más adelante se explica detalladamente las características, bondades y lo más importante, el porqué de su utilización en el diseño del equipo.

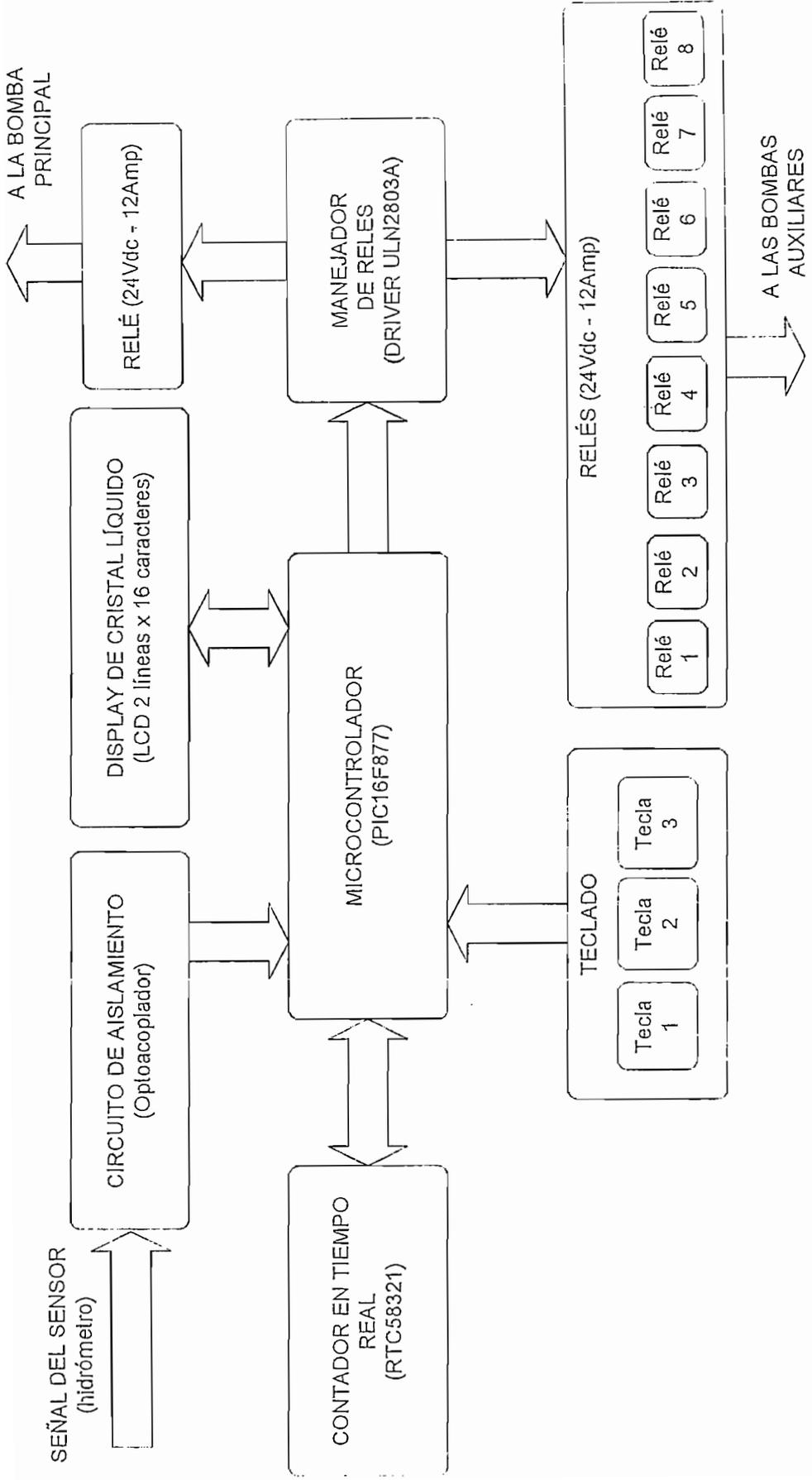


Figura No. 2.2 Diagrama en Bloques del Temporizador Programable

## 2.2.1 DISEÑO DE LA ETAPA DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN

### 2.2.1.1 ELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR

El cerebro del equipo, quien efectúa las tareas encomendadas por el usuario como es el cierre - apertura de válvulas en tiempos, horarios, ciclos, volúmenes, número de veces determinados, es el microcontrolador. Para el diseño del Temporizador Programable se utiliza un microcontrolador fabricado por Microchip™ que es el PIC16F877 por sus bondades y características que satisfacen plenamente los requerimientos de diseño. A continuación se notan las más importantes:

- Posee memoria de programación de tipo CMOS FLASH, es decir permite grabar eléctricamente muchas veces al microcontrolador con lo que las pruebas de funcionamiento del equipo no se limitan.
- Es de fácil programación, posee un repertorio o set de tan solo 35 instrucciones de fácil entendimiento, además la mayoría de ellas se ejecutan en un solo ciclo.
- No necesita elementos externos para su control.
- Posee 5 puertos configurables como entradas y/o salidas digitales para manejo de periféricos externos como son: display de cristal líquido, reloj en tiempo real, teclado, drivers, manejo de la señal proveniente del sensor (hidrómetro), señalización de funcionamiento de válvulas mediante leds.
- Posee 368x8 bytes de RAM (memoria de datos) que solventa el requerimiento de almacenar datos de tiempo, volumen, modo de riego, configuración y manejo de periféricos, almacenamiento de valores de variables propias del programa.
- Posee 8Kx14 palabras de memoria de programa tipo FLASH (reprogramable eléctricamente) suficiente para desarrollar el software (programa) requerido por el equipo.
- Es de última generación lo que impone modernidad al equipo, además es de bajo costo lo que hace accesible el equipo a cualquier agricultor.

A continuación se indica la distribución de pines del microcontrolador y como ha sido empleado cada puerto.

Pín No.	Símbolo	I/O	Descripción	Hardware (externo)
1	VPP	I	Reset	Reset
2	RA0	I/O	PUERTO A	Tecla 1
3	RA1			Tecla 2
4	RA2			Tecla 3
5	RA3			NC
6	RA4			NC
7	RA5			Relé bomba principal
8	RE0	I/O	PUERTO E	RS DEL LCD
9	RE1			RW DEL LCD
10	RE2			E DEL LCD
11	VDD	-	Alimentación (5VDC)	Alimentación (5VDC)
12	VSS	-	Tierra (GND 0VDC)	Tierra (GND 0VDC)
13	OSC1	-	Oscilador de cristal	Oscilador de cristal
14	OSC2	-	Oscilador de cristal	Oscilador de cristal
15	RC0	I/O	PUERTO C	WRITE_RTC
16	RC1			READ_RTC
17	RC2			ADDRESS_WRITE
18	RC3			ENTRADA SENSOR
19	RD0	I/O	PUERTO D	Relé 1 bomba auxiliar
20	RD1			Relé 2 bomba auxiliar
21	RD2			Relé 3 bomba auxiliar
22	RD3			Relé 4 bomba auxiliar
23	RC4	I/O	PUERTO C	D0 (RTC)
24	RC5			D1 (RTC)
25	RC6			D2 (RTC)
26	RC7			D3 (RTC)
27	RD4	I/O	PUERTO D	Relé 5 bomba auxiliar
28	RD5			Relé 6 bomba auxiliar
29	RD6			Relé 7 bomba auxiliar
30	RD7			Relé 8 bomba auxiliar
31	VSS	-	Alimentación (5VDC)	Alimentación (5VDC)
32	VDD	-	Tierra (GND 0VDC)	Tierra (GND 0VDC)
33	RB0	I/O	PUERTO B	DB0 (LCD)
34	RB1			DB1 (LCD)
35	RB2			DB2 (LCD)
36	RB3			DB3 (LCD)
37	RB4			DB4 (LCD)
38	RB5			DB5 (LCD)
39	RB6			DB6 (LCD)
40	RB7			DB7 (LCD)

I = Entrada (Input) / O = Salida (Output) / NC = Sin conexión

Tabla No. 2.1 Distribución de Pines del Microcontrolador PIC16F877

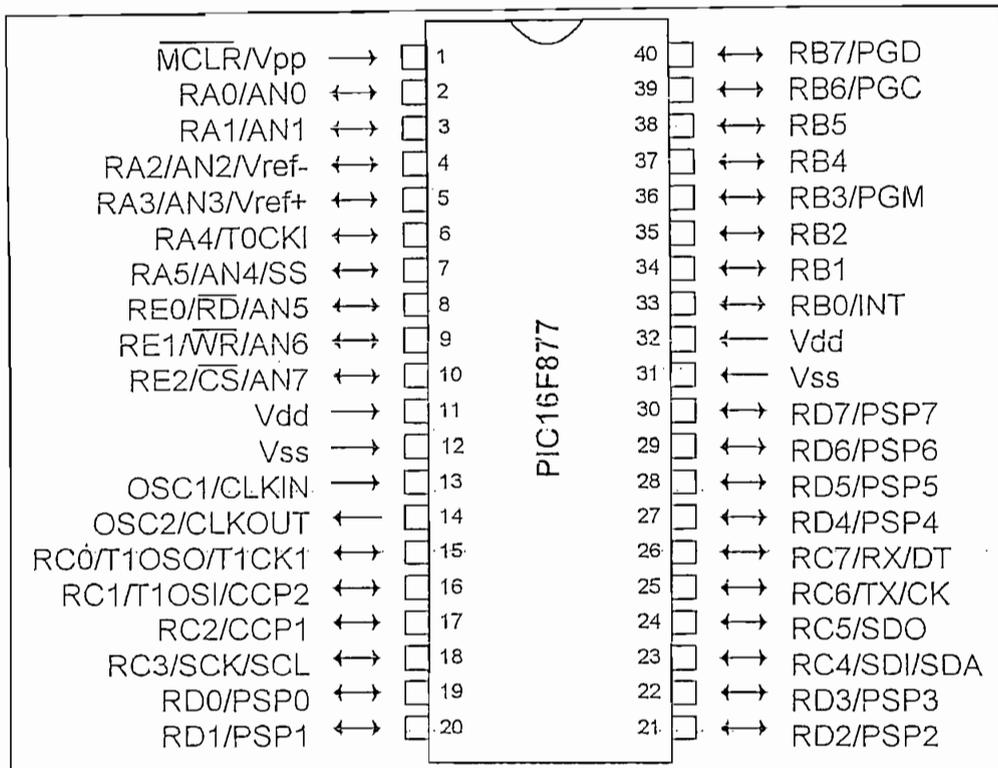


Figura No. 2.3 Distribución de Pines del Microcontrolador PIC16F877

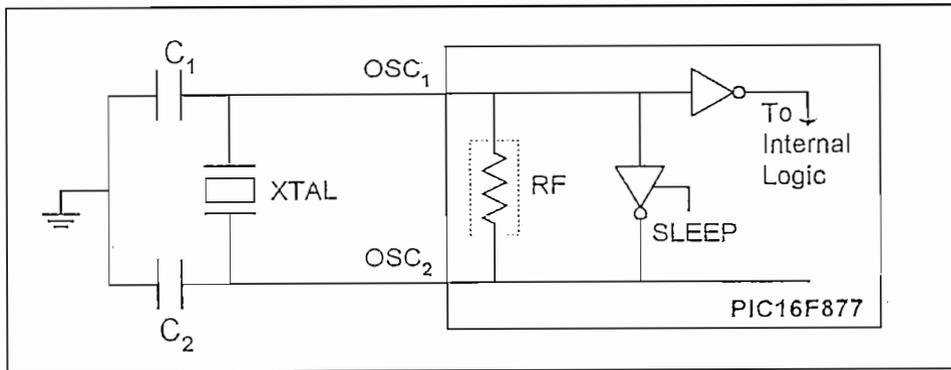
Mayor información del microcontrolador PIC16F877 se encuentra en las especificaciones técnicas del fabricante disponibles en el anexo.

#### 2.2.1.1.1 HARDWARE PARA EL MICROCONTROLADOR PIC16F877

Los microcontroladores de la familia PIC necesitan de un circuito oscilador para su funcionamiento; el PIC16F877 es capaz de soportar hasta 20 MHz de frecuencia de operación. La conexión del oscilador de cristal recomendada por el fabricante e implementada en el diseño propone el uso de:

- Un oscilador de cristal de 4 MHz el cual define la velocidad con que se ejecutarán las instrucciones dentro del microcontrolador.
- Dos capacitores de 27pF cada uno con el fin de filtrar el ruido y así garantizar el buen funcionamiento del oscilador y por ende del microcontrolador.

La conexión del oscilador de cristal con el microcontrolador se muestra a continuación:



OSC1 = Pín # 13, OSC2 = Pín # 14 (ver Fig. No. 2.3)

Figura No. 2.4 Configuración del Oscilador de Cristal

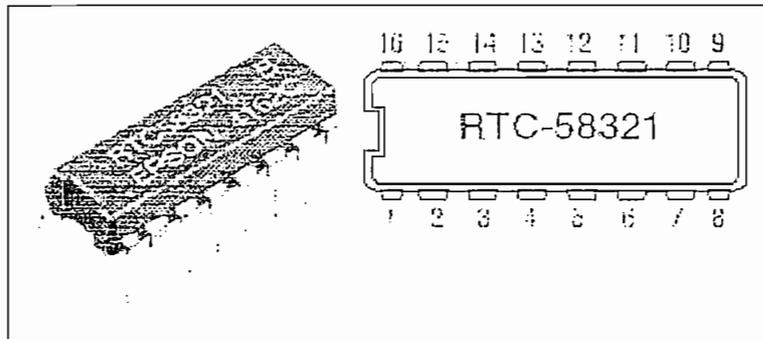
### 2.2.1.2 RELOJ EN TIEMPO REAL

Para el manejo de calendarios, horarios y tiempos de riego se hace obvia la utilización de un reloj - calendario que suministre dicha información, para ello se utiliza un reloj en tiempo real RTC58321 fabricado por Epson<sup>TM</sup>. La disposición de pines, simbología y función de cada uno de ellos se presenta a continuación:

Pín No.	Símbolo	I/O	Función
1	CS2	I	Chip select 2 (1L puedo acceder al elemento)
2	WRITE	I	1L para LEER
3	READ	I	1L para ESCRIBIR
4	D0	I/O	Bus de datos
5	D1	I/O	
6	D2	I/O	
7	D3	I/O	
8	GND		Tierra o GND (0 VDC)
9	ADDRESS WRITE	I	Address latch (1L tomo dirección del Bus)
10	BUSY	O	Señal de salida de 1Hz
11	STOP	I	Detiene reloj
12	TEST	I	Incrementa reloj
13	CS1	I	Chip select 1 al circuito de Detección de pérdida de energía
14	N.C.	-	Sin conexión
15	N.C.	-	Sin conexión
16	VCC	-	Alimentación (5 VDC)

I = entrada / O = salida

Tabla No. 2.2 Distribución de Pines del Reloj en Tiempo Real



*Figura No.2.5 Distribución de Pines del Reloj en Tiempo Real*

Este reloj es desarrollado para aplicaciones con microcontroladores, de allí la razón de su utilización. Como características importantes del mismo se tienen:

- Acceso disponible a su memoria interna donde se ubican registros de reloj y calendario para año, mes, día, día de la semana, horas, minutos y segundos; selección en modo 24 o 12 horas, registros de control de lectura o escritura de datos.
- Al ser del tipo CMOS permite igualar, escribir o leer en cualquier momento siempre y cuando se respeten los tiempos de lectura/escritura (estos están en el orden de  $\mu s$ ).
- Posee un bus de datos de 4 bits D0, D1, D2 y D3 (pines 4, 5, 6 y 7 del RTC) bidireccional que se maneja desde el Puerto C del microcontrolador para leer o escribir los registros de control, reloj y calendario ubicados en la memoria interna del reloj en tiempo real.

Da acceso a tres bits propios de su memoria interna para su control:

- **Bit ADDRESS WRITE** (pín 9), este bit le dice al RTC que el dato que se encuentra en el bus de datos será la dirección que va a ser leída o escrita, este bit se controla desde el pín 17 del Puerto C del microcontrolador.
- **Bit WRITE\_RTC** (pín 2), este bit le dice al RTC que la dirección elegida va a ser ESCRITA, y se controla desde el pín 15 del Puerto C del microcontrolador.

- *Bit READ\_RTC* (pín 3), este bit le dice al RTC que la dirección elegida va a ser LEIDA, se controla desde el pín 16 del Puerto C del microcontrolador.

La conexión microcontrolador – reloj en tiempo real se presenta a continuación, en ella se ven conectadas resistencias de “pull-up” en el bus de datos de 10K $\Omega$  cada una para limitar la corriente de entrada al microcontrolador, un capacitor C<sub>3</sub> de 10 $\mu$ F entre Vcc y Gnd para filtrar el ruido; todo por recomendación del fabricante para garantizar el correcto funcionamiento del RTC.

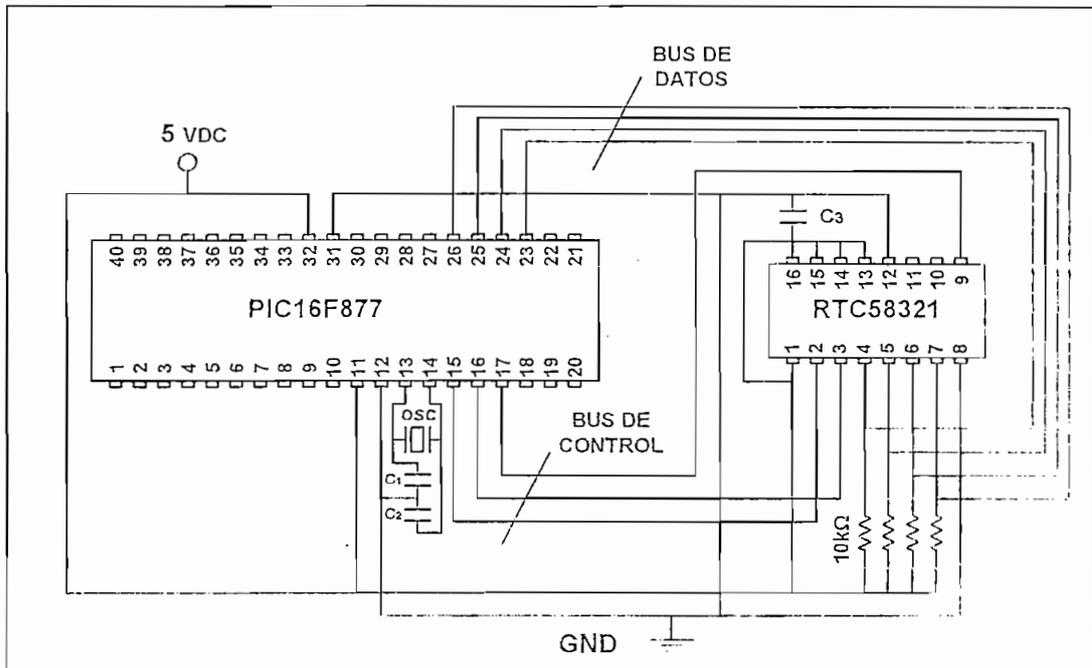


Figura No. 2.6 Conexión RTC - Microcontrolador

Más información del reloj en tiempo real RTC58321 se encuentra en las especificaciones técnicas del fabricante disponibles en el anexo.

## 2.2.1.3 ETAPA DE VISUALIZACIÓN

### 2.2.1.3.1 DISPLAY DE CRISTAL LIQUIDO (LCD)

La pantalla de cristal líquido LCD, es un periférico de salida muy potente, flexible, eficaz y económico, siendo el microcontrolador PIC el dispositivo más adecuado para optimizar sus prestaciones y control.

Este dispositivo tiene toda la lógica de control preprogramada para regular su funcionamiento; el consumo de corriente es mínimo y está disponible con mucha facilidad en el mercado.

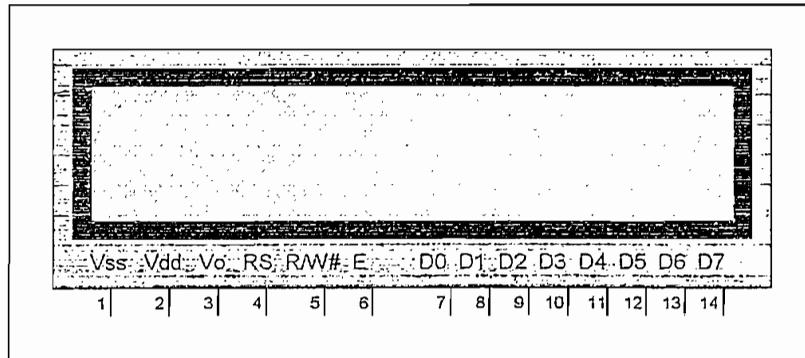
Para la visualización de la programación y funcionamiento de calendario, horarios, fechas, tiempos y volúmenes de riego, señales provenientes del sensor, cierre y apertura de válvulas, test de válvulas y sensor, etc., se utiliza un display de cristal líquido de 2 líneas x 16 caracteres, sumando un total de 32 caracteres formados por una matriz de 5x7 pixels cada uno que es suficiente para la aplicación.

La distribución de pines de un modulo LCD es estándar; así, para el módulo LCD de 2 líneas x 16 caracteres se dispone de 14 terminales de conexión cuya distribución es la siguiente:

Pín No.	Símbolo	I/O	Función
1	VSS	-	0 VDC Tierra ( GND )
2	VCC	-	+ 5 VDC
3	Vee = Vc	-	Ajuste del Contraste
4	RS	I	0 = Escribir en el modulo LCD 1 = Leer del modulo LCD
5	R/W	I	0 = Entrada de una Instrucción 1 = Entrada de un dato
6	E	I	Habilitación del modulo LCD
7	DB0	I/O	BUS DE DATOS LINEA 1 ( LSB )
8	DB1	I/O	BUS DE DATOS LINEA 2
9	DB2	I/O	BUS DE DATOS LINEA 3
10	DB3	I/O	BUS DE DATOS LINEA 4
11	DB4	I/O	BUS DE DATOS LINEA 5
12	DB5	I/O	BUS DE DATOS LINEA 6
13	DB6	I/O	BUS DE DATOS LINEA 7
14	DB7	I/O	BUS DE DATOS LINEA 8 (MSB)
15	A	-	LED (+) Back Light
16	K	-	LED (-) Back Light

I = entrada / O = salida

Tabla No. 2.3 Distribución de Pines del LCD



*Figura No. 2.7 Distribución de Pines del LCD*

Para controlar el módulo LCD con el PIC16F877 se conecta las líneas del Puerto B (RB0 - RB7) del PIC a las líneas D0 - D7 (bus de datos) del LCD. Las líneas del Puerto B son bidireccionales y se configuran como entradas o salidas según el sentido de la información. Las tres líneas del Puerto E (RE0 - RE2) del PIC se configuran como salidas y se conectan a las líneas RS; R/W# y E del LCD respectivamente.

Los pines 1 y 2 están destinados para conectarse a 5 VDC que requiere el módulo para su funcionamiento, el pín 3 es utilizado para ajustar el contraste de la pantalla es decir colocar los caracteres más oscuros o más claros. En el diseño, el pín 3 se lo conecta directamente a tierra o GND (0 VDC) con el fin de tener un contraste máximo y así una visualización clara.

El pín 4 denominado "RS" trabaja paralelamente al bus de datos del modulo LCD (bus de datos son los pines del 7 al 14). Este bus es utilizado de varias maneras: se puede colocar un dato que represente una instrucción, un símbolo o un carácter alfa numérico; pero para que el modulo LCD pueda entender la diferencia entre un símbolo o una instrucción se utiliza el pín 4; si el pín 4 = 0L está presente en el bus de datos una instrucción, por el contrario, si el pín 4 = 1L le dirá al modulo LCD que esta presente un símbolo o un carácter alfa numérico. *Este pín del LCD es controlado desde el pín 8 (Puerto E bit RE0) del microcontrolador.*

El pín 5 denominado "R/W" trabaja paralelamente al bus de datos del modulo LCD (pines del 7 al 14 del LCD). Es utilizado de dos maneras: para que el modulo LCD ESCRIBA en pantalla el dato que está presente en el bus; o para que LEA el dato

que está presente en el bus. En el diseño se utiliza el modo de escritura del modulo del dato existente en el bus. *Este pín es controlado desde el pín 9 (Puerto E bit RE1) del microcontrolador.*

El pín 6 denominado "E", señal de activación del modulo LCD, tiene una finalidad básica: conectar y desconectar el modulo. Esta desconexión no significa quitar el voltaje que le suministra la corriente al módulo; la desconexión significa tan solo que se hará caso omiso a todo lo que este presente en el bus de datos del módulo LCD. *Este pín es controlado desde el pín 10 (Puerto E bit RE2) del microcontrolador.*

Ocho terminales (D0 – D7), pines del 7 hasta el 14 reciben los caracteres ASCII a representar, así como ciertos códigos de control que regulan los efectos de visualización. También por ellos el módulo LCD envía información sobre su estado interno, es decir, estas 8 líneas se utilizan para colocar el dato que representa una instrucción para el modulo LCD o un carácter alfa numérico. Este forma un bus de datos de 8 bits de longitud donde el bit menos significativo esta representado en el pín 7 (LBS) y el pín más significativo esta representado en el pín numero 14 (MBS). *Estos pines (del 7 al 14 en el LCD) son controlados desde los pines del 33 al 40 (Puerto B bits del RB0 al RB7) del microcontrolador.*

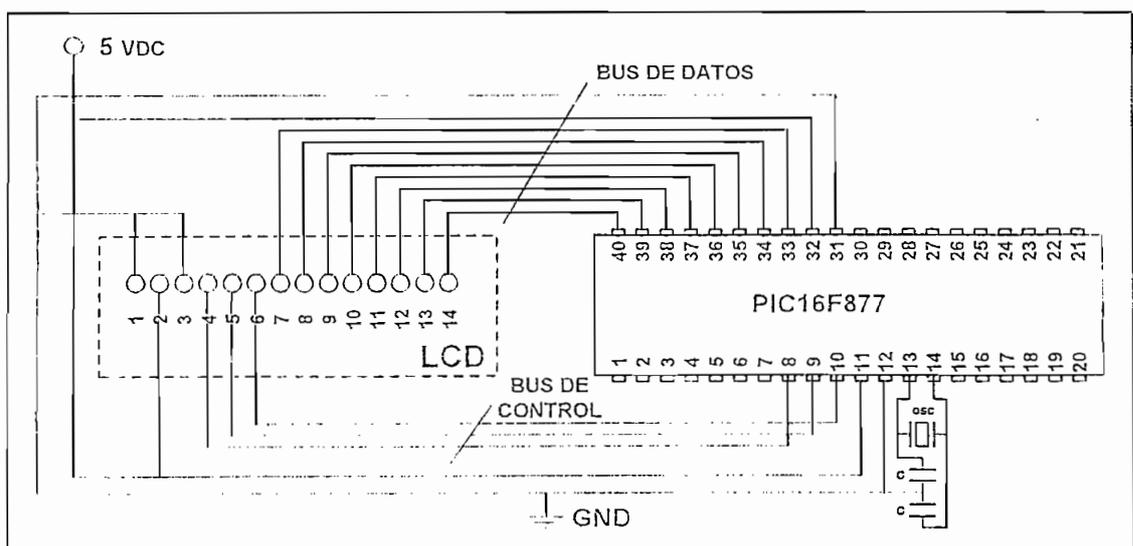


Figura No. 2.8 Conexión LCD - Microcontrolador

### 2.2.1.3.2 LEDS DE VISUALIZACIÓN

Para visualizar el estado de funcionamiento de las 9 válvulas (1 principal y 8 auxiliares) se utiliza diodos de emisión de luz (LED) que son uno de los dispositivos de salida digital más utilizados por ser sencillos y económicos. Según el nivel lógico que se le aplique a su cátodo o ánodo se encienden o se apagan. Las líneas del microcontrolador pueden suministrar suficiente corriente como para encender a un diodo led, por esto se les conecta directamente a través de una resistencia de  $220\Omega$ .

*Estos diodos de emisión de luz son controlados desde los pines 19, 20, 21, 22; 27, 28, 29, 30 (Puerto D bits del RD0 al RD7) del microcontrolador para visualización del estado de las válvulas auxiliares y del pín 7 (Puerto A bit RA5) del microcontrolador para la visualización del estado de la válvula principal.*

A más de visualizar el estado de las válvulas, se dispone de un led indicador de pérdida de energía de la red; así, cuando la red proporciona energía el led permanecerá encendido y si ocurre lo contrario el circuito de emergencia entrará en funcionamiento pero el led indicador se apagará.

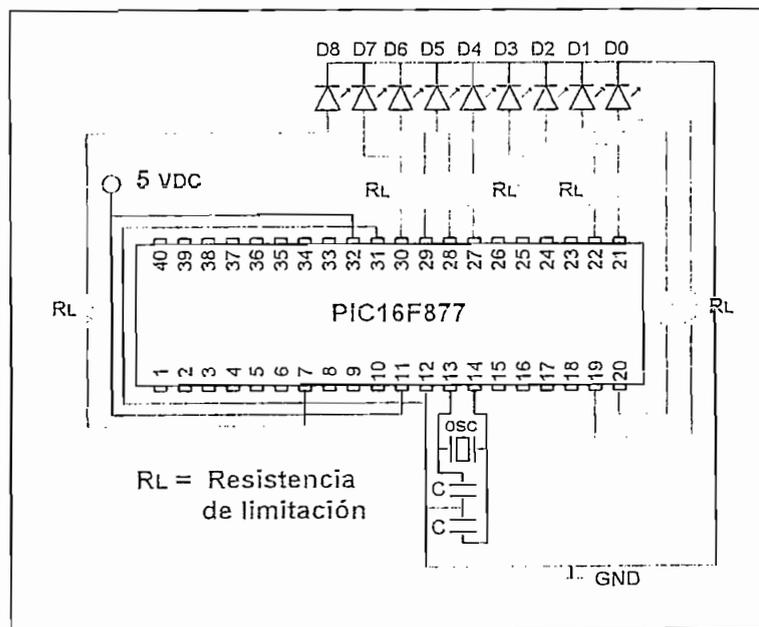


Figura No. 2.9 Conexión Microcontrolador – LEDS de Visualización

## • CALCULO DE RESISTENCIAS DE LIMITACIÓN

Para el diseño se definen los siguientes parámetros:

- Nivel de tensión 5Vdc.
- Corriente máxima por el diodo  $I_{Fm\acute{a}x} = 60 \text{ mA}$ .
- Corriente máxima entregada por el microcontrolador = 25mA

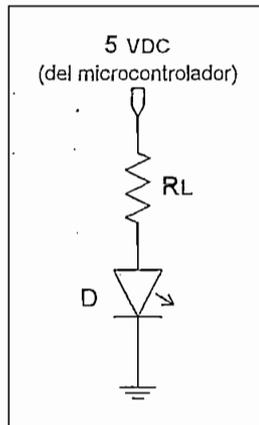


Figura No. 2.10 Cálculo de Resistencias de Limitación

Con estos datos, para que la corriente que fluye por el diodo sea máxima:

$$R_{L\text{mín}} = (V_{dc} - V_d) / I_{Fm\acute{a}x}$$

$$R_{L\text{mín}} = (5V - 1.3V) / 60 \text{ mA}$$

$$R_{L\text{mín}} = 61,6 \Omega$$

La resistencia de limitación para cada diodo será la de mayor valor normalizado, con ello estará limitada la corriente para proteger los LEDs.

$$R_L = 220 \Omega$$

$$I_{in(\text{diodo})} = (5V - 1.3V) / 220 \Omega$$

$$I_{in(\text{diodo})} = 16.8 \text{ mA} < 25 \text{ mA (corriente máxima entregada por el microcontrolador)}$$

## 2.2.2 DISEÑO DE LA ETAPA DE ENTRADAS

### 2.2.2.1 TECLADO

El teclado es un periférico externo utilizado para introducir información al equipo por parte del usuario. En el Temporizador Programable, éste se compone de tres pulsadores que son elementos pasivos independientes que permiten ingresar al microcontrolador un nivel lógico en el momento en que se les acciona, pasando al nivel contrario cuando se deja de hacerlo retomando la posición de reposo.

Los pulsadores necesitan de resistencias que limiten la corriente cuando se las acciona. Para el diseño se definen los siguientes parámetros:

- Nivel de tensión 5Vdc.
- Corriente máxima equivalente a 1 lógico de entrada al microcontrolador  
 $I_{in\_m\acute{a}x} = 25 \text{ mA. (1L)}$
- Corriente mínima equivalente a 1 lógico de entrada al microcontrolador  
 $I_{in\_m\acute{i}n} = 600 \mu\text{A. (1L)}$ ; bajo este valor el microcontrolador asumirá una entrada de 0 lógico.
- Cambio de estado de teclas por flanco negativo.

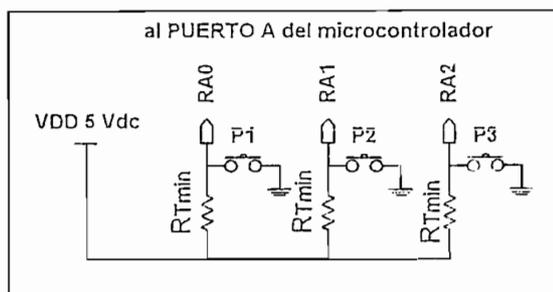


Figura No. 2.11 Etapa de Entrada (teclado)

Con estos datos, para que la corriente que ingresa al microcontrolador sea la máxima permisible:

$$R_{T\_min} = V_{dc} / I_{in\_m\acute{a}x}$$

$$R_{T\_min} = 5V / 25mA$$

$$R_{T\_min} = 200 \Omega$$

Las teclas permiten que se realice un cambio de un nivel de voltaje o nivel l3gico alto (1L = 5VDC /  $I > 600 \mu A$ ) a un nivel de voltaje o nivel l3gico bajo (0L = 0VDC /  $I < 600 \mu A$ ) en la entrada del Puerto A del microcontrolador, esto se conoce como cambio de estado por flanco negativo.

$$R_{T\_min} = 200 \Omega$$

$$I_{in(micro)} = 5V / 200\Omega$$

$$I_{in(micro)} = 25mA > 600 \mu A \text{ (garantiza 1 l3gico)}$$

La conexi3n Teclado – Microcontrolador se presenta a continuaci3n, los pulsadores son controlados desde los pines 2, 3 y 4 (Puerto A bits RA0, RA1 y RA2) del microcontrolador.

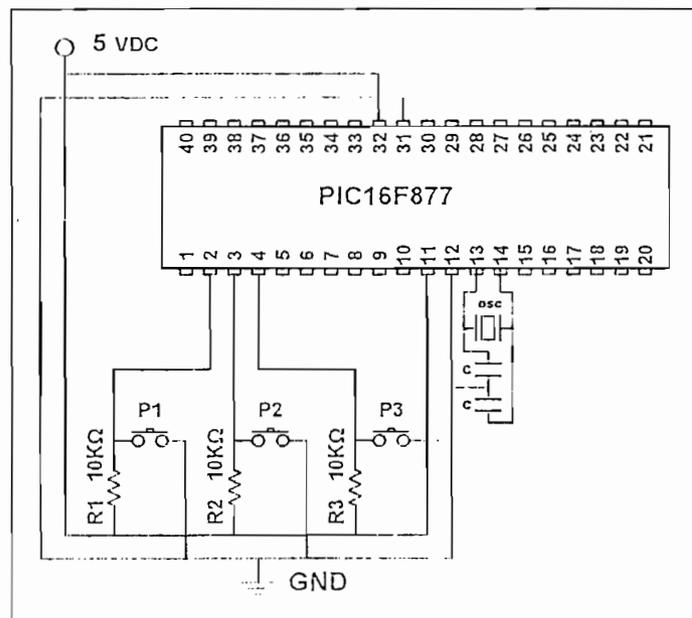


Figura No. 2.12 Conexi3n Teclado - Microcontrolador

### 2.2.2.2 CIRCUITO DE AISLAMIENTO ENTRE LA SEÑAL DEL SENSOR Y EL MICROCONTROLADOR

El sensor o hidrómetro entrega un pulso (señal de onda cuadrada) de 5 voltios pico por cada cierto número de litros de agua o líquido regados. Debido a que el equipo es diseñado para funcionamiento en el campo como por ejemplo invernaderos, en donde existen distancias considerables entre el hidrómetro y el equipo, se hace necesario implementar un circuito de acoplamiento que no afecte el trabajo del microcontrolador evitando se introduzca ruido, voltajes o picos de corriente elevados que pueden distorsionar la información de entrada al microcontrolador o en el peor de los casos la destrucción del mismo.

Para lograr esto se usa un optoacoplador que permite que la señal del sensor no entre directamente al pín de uno de los puertos del microcontrolador sino a través del mismo (fototransistor 4N25A) con lo que se aísla la señal del sensor con el microcontrolador, así:

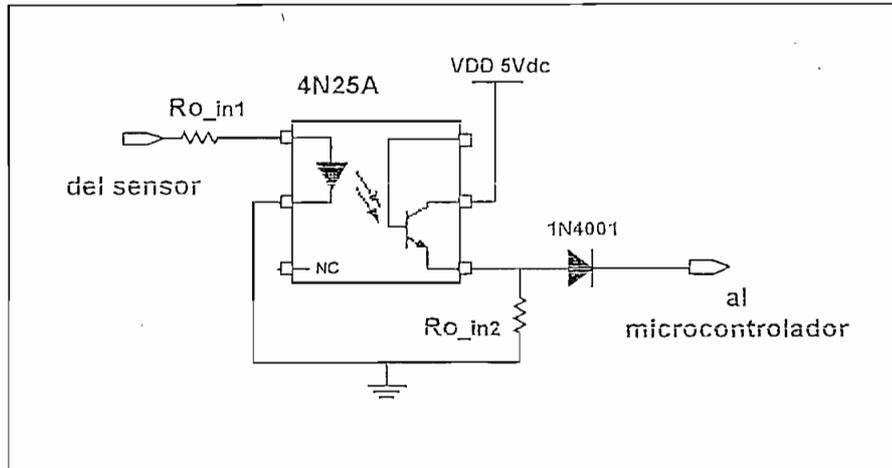


Figura No. 2.13 Acoplamiento de la Señal del Sensor

Para el cálculo de las resistencias se definen los siguientes parámetros:

- Nivel de tensión de entrada 5Vdc.
- Nivel de tensión de salida 5Vdc.
- Corriente de entrada al microcontrolador  $I_{in\_min} = 600 \mu A$ .

El optoacoplador 4N25A, de fácil adquisición en el mercado, es un optotransistor tipo NPN con un voltaje de aislamiento de 100Vdc y una potencia de disipación de 150 mW.

Características del optoacoplador 4N25A:

- $I_{Fm\acute{a}x} = 60 \text{ mA}$ . (corriente máxima por el diodo)
- $I_{Cm\acute{a}x} = 10 \text{ mA}$ . (corriente máxima colector - emisor)

Con estos datos la corriente máxima en la etapa de entrada al optoacoplador:

$$R_{o\_in1(\text{mín})} = (V_{dc} - V_d) / I_{Fm\acute{a}x}$$

$$R_{o\_in1(\text{mín})} = (5V - 1.3V) / 60\text{mA}$$

$$R_{o\_in1(\text{mín})} = 61,6 \Omega$$

La resistencia de entrada será la de mayor valor normalizado, con ello estará limitada la corriente para proteger al optoacoplador.

$$R_{o\_in1} = 100 \Omega$$

$$I_{in(\text{diodo})} = (5V - 1.3V) / 100 \Omega$$

$$I_{in(\text{diodo})} = 37 \text{ mA} < 60 \text{ mA} \text{ (corriente máxima que soporta el diodo)}$$

En la etapa de salida el cálculo de la resistencia es:

$$R_{o\_in2(\text{mín})} = (V_{cc} - V_{led} - V_{tsat}) / I_{Cm\acute{a}x}$$

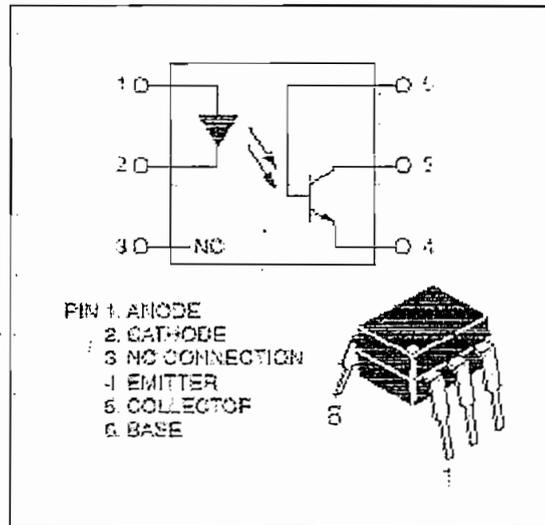
$$R_{o\_in2(\text{mín})} = (5 \text{ V} - 1.3 \text{ V} - 0.7 \text{ V}) / 10 \text{ mA}$$

$$R_{o\_in2(\text{mín})} = 300 \Omega$$

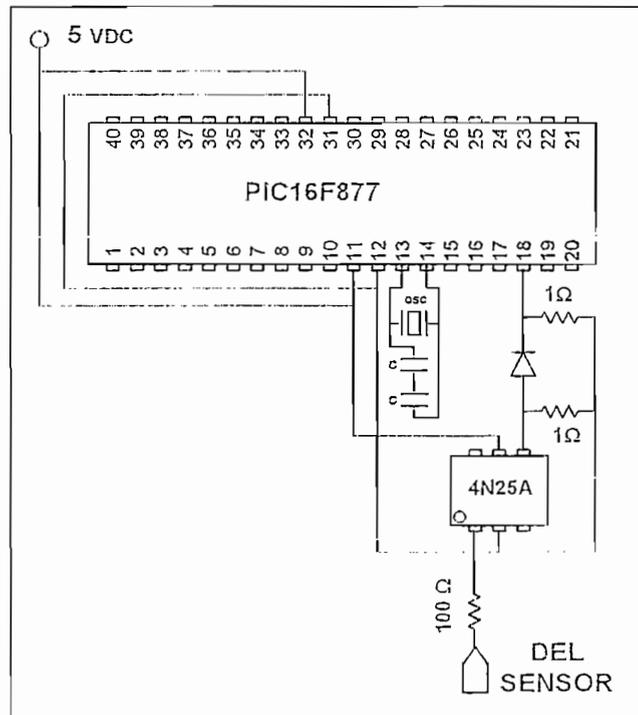
Para acoplar las tierras de la señal entrada proveniente del sensor y la optoacoplada se usa una resistencia de pequeño valor, en el diseño se ha decidido emplear una resistencia de  $1\Omega$  para tal fin.

$$R_{o\_in2} = 1 \Omega$$

Con el fin de que la corriente de entrada al microcontrolador sea unidireccional se conecta en serie le diodo 1N4001 cuya máxima capacidad de corriente es 1 Amp. A continuación, la distribución de pines del optoacoplador y la conexión con el microcontrolador.



*Figura No. 2.14 Distribución de Pines del Fototransistor (opto acoplador)*



*Figura No. 2.15 Conexión Optotransistor - Microcontrolador*

## 2.2.3 DISEÑO DE LA ETAPA DE SALIDAS

### 2.2.3.1 DRIVERS O MANEJADORES DE RELÉS

Ya que las válvulas funcionan con un voltaje y corriente superior al que maneja el microcontrolador es necesario aislarlos, para ello se ha visto necesario la utilización de RELÉS que a la vez son manejados por un dispositivo que permite crear una interfase entre ellos.

Para esta aplicación, el driver o manejador tipo Darlington NPN de alto voltaje y alta corriente fabricado por Motorola™ ULN2803A permite crear una interfase entre el microcontrolador y los RELÉS quienes tienen la tarea final de abrir o cerrar válvulas cubriendo así las necesidades del diseño.

El diagrama interno del driver en mención se lo presenta a continuación, éste está compuesto de un transistor tipo Darlington manejado con una resistencia de  $2.7\text{K}\Omega$  que limita la cantidad de corriente de entrada a la base, 2 resistencias de  $7.2\text{K}\Omega$ ,  $3\text{K}\Omega$  para darle velocidad al apagado y un diodo entre base y emisor para protección de la juntura.

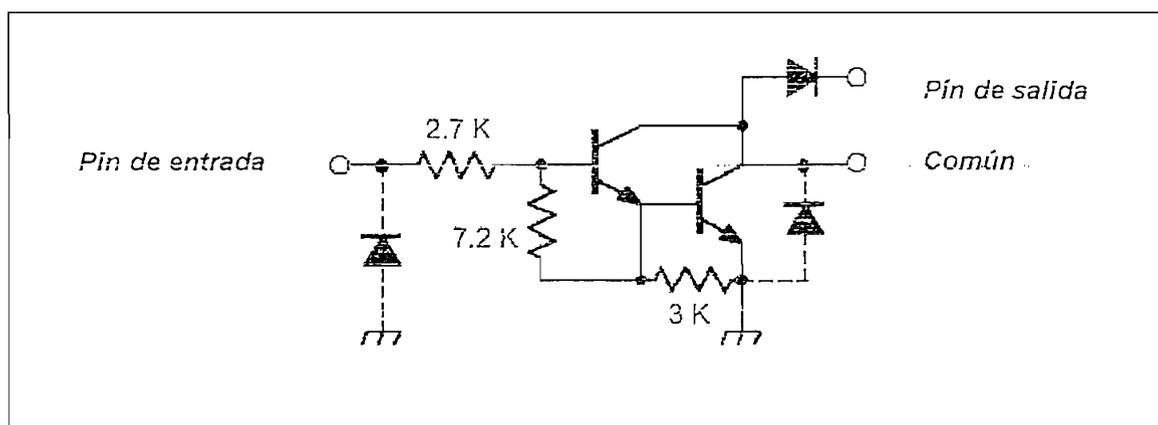


Figura No. 2.16 Configuración Interna de cada Driver

Este dispositivo se adapta a señales TTL como las que entrega el microcontrolador; provee una corriente de salida de hasta 500mA, puede desacoplar voltajes de hasta 95VDC, además de que no hace falta adaptar circuitería externa.

A continuación se presenta el diagrama de bloques de la interfase de aislamiento entre el microcontrolador y los relés:

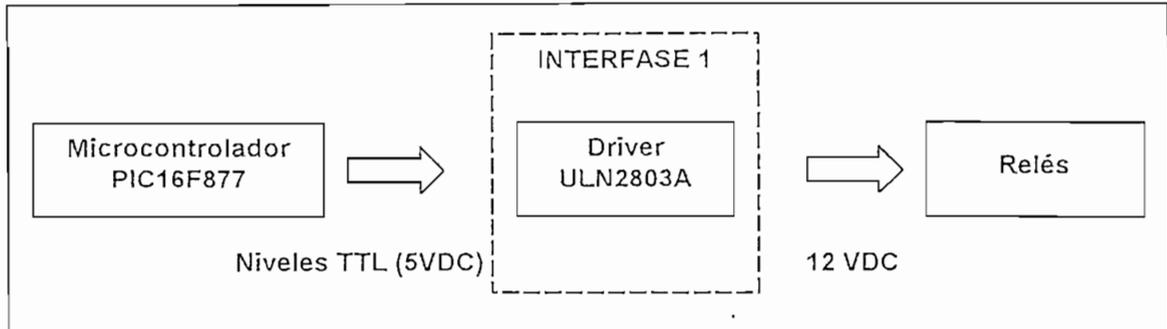


Figura No. 2.17 Interfase de Aislamiento

Los drivers son controlados desde los pines 19, 20, 21, 22; 27, 28, 29, 30 (Puerto D bits del RD0 al RD7) del microcontrolador hacia los pines del 1 al 8 del primer driver ULN2803A para crear la interfase entre el microcontrolador y los relés que controlan el estado de las válvulas auxiliares y del pín 7 (Puerto A bit RA5) hacia el pín 1 del segundo driver ULN2803A para la interfase entre el microcontrolador y el relé que controla el estado de la válvula principal.

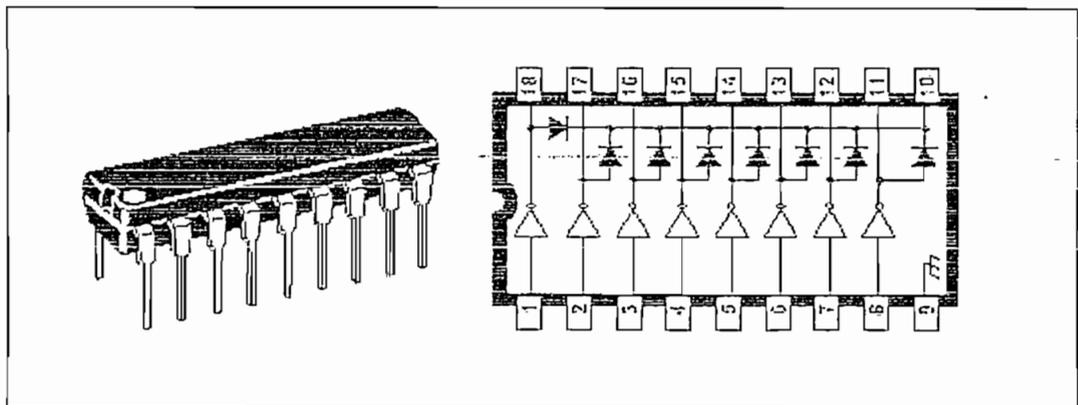


Figura No. 2.18 Distribución de Pines del Driver ULN2803A

Más información del driver tipo Darlington ULN2803A se encuentra en las especificaciones técnicas del fabricantes disponibles en el anexo.

### 2.2.3.2 RELÉS

Los relés son elementos que están compuestos por un bobinado en su extremo principal y contactos en su extremo secundario; así, al aplicar un voltaje a dicho bobinado este produce un campo magnético que a la vez genera una fuerza magnetomotriz capaz de activar o desactivar un mecanismo (extremo secundario) que servirá como interruptor de otro nivel de voltaje independizando o aislando el uno del otro.

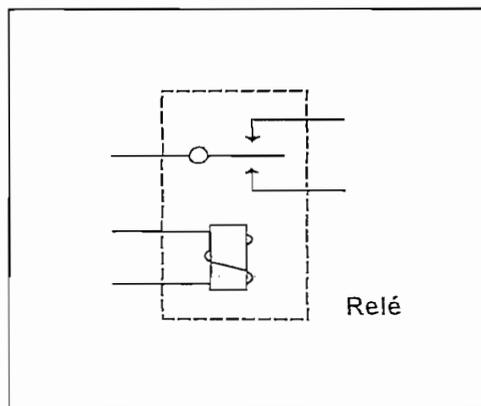


Figura No. 2.19 Esquema básico de un Relé

La activación o desactivación de un relé brinda la oportunidad de poder controlar cargas que manejan mucha más corriente porque pueden ser controladas por los contactos de dicho relé como es el caso de las válvulas auxiliares y la válvula principal (estas funcionan a 24 voltios de corriente continua), y permiten tener aislamiento entre la salida y la etapa de los drivers.

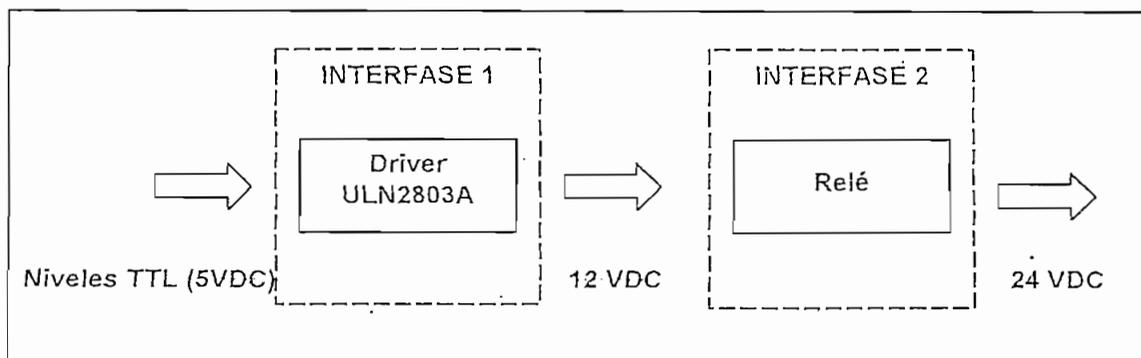
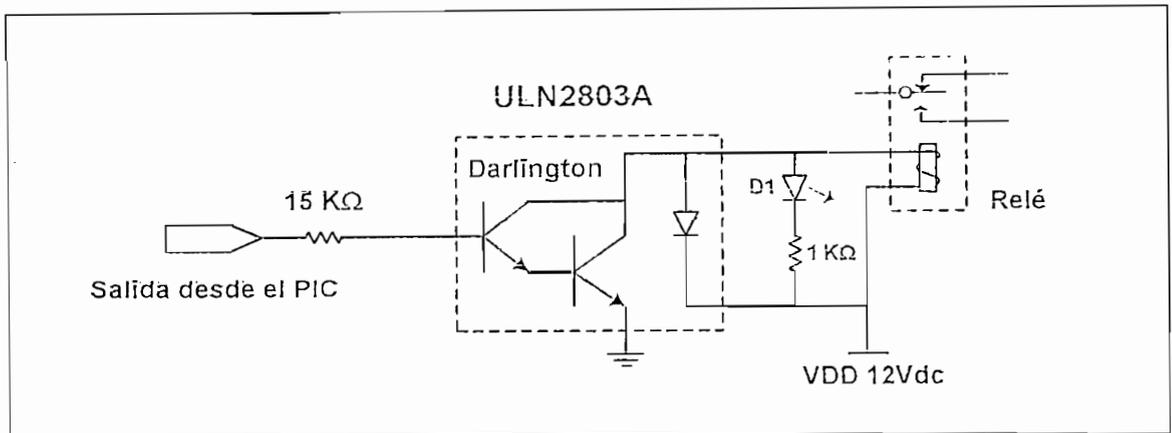


Figura No. 2.20 Interfases de Aislamiento hacia la salida

Cuando la línea de salida del microcontrolador aplica un nivel alto a la base del transistor Darlington (driver ULN2803A), hace que conduzca y se active el relé. Al cerrarse los contactos de éste se controla una carga mayor.



*Figura No. 2.21 Esquema Implementado para Gobierno de un Relé*

El microcontrolador dará la orden de cierre apertura de 8 válvulas auxiliares y una válvula principal, todas independientes y gobernadas por relés como se describió anteriormente.

## 2.2.4 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

### 2.2.4.1 REGULADORES DE VOLTAJE

Para garantizar un buen funcionamiento del equipo se hace necesario disponer de un voltaje regulado, y puro; así, el microcontrolador, display de cristal líquido, reloj en tiempo real, driver o manejador funcionan con 5VDC (niveles TTL), por otra parte, el bobinado principal de los relés se alimenta con 12VDC.

Para dar solución en lo que a alimentación de voltaje y corriente se refiere, se dispone de una fuente de voltaje externa de 17VDC y 1000mA, dicho voltaje es regulado y dirigido a cada elemento dependiendo de su requerimiento. Para ello se utilizan dos reguladores de voltaje, el LM340T12 que provee de 12VDC y el 7805C que provee 5VDC.

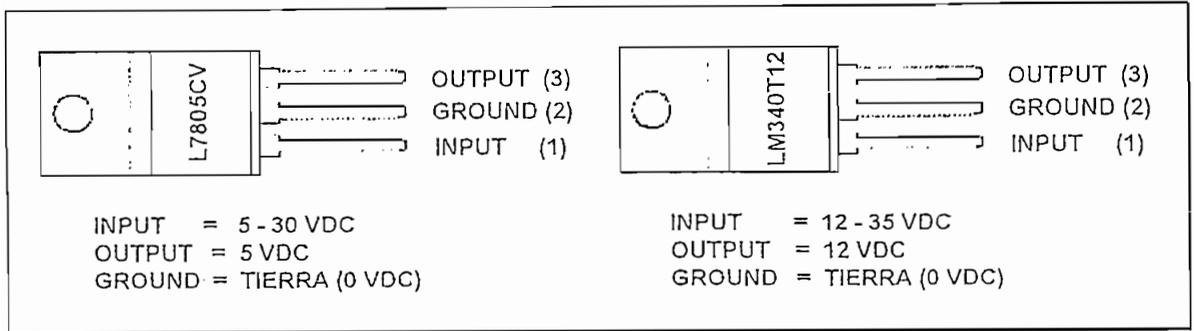


Figura No. 2.22 Distribución de Pines del Regulador L7805CV / LM340T12

#### 2.2.4.2 CIRCUITO DE EMERGENCIA

En caso de suspensión o corte de energía se hace necesaria la implementación de un circuito de respaldo o emergencia que garantice que el reloj en tiempo real no se detenga y pierda su programación de tiempo y calendario, así como también la programación de riego efectuada por el usuario (existente en la memoria RAM del microcontrolador).

Para superar el problema antes mencionado, se ha implementado un circuito que consta de una batería recargable la que está conectada en paralelo al circuito de alimentación como se ve en la *Figura No.2.23*, cuando el circuito de alimentación está entregando energía, ésta batería se está cargando constantemente y cuando se suspende la energía de la red entra en funcionamiento la batería que para ese entonces estará cargada a su máxima capacidad (8.4VDC).

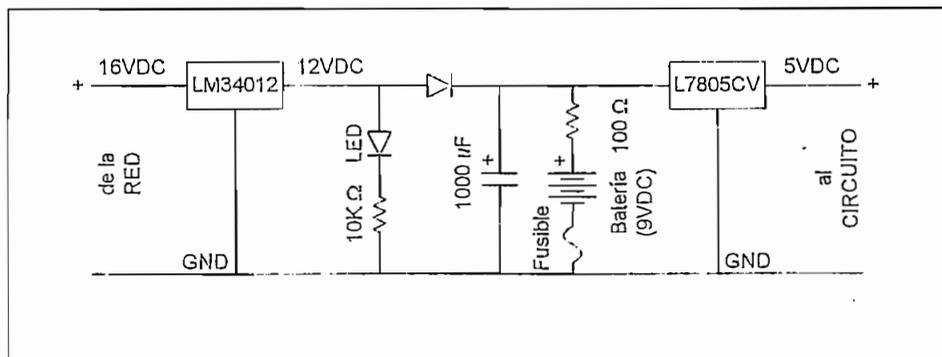


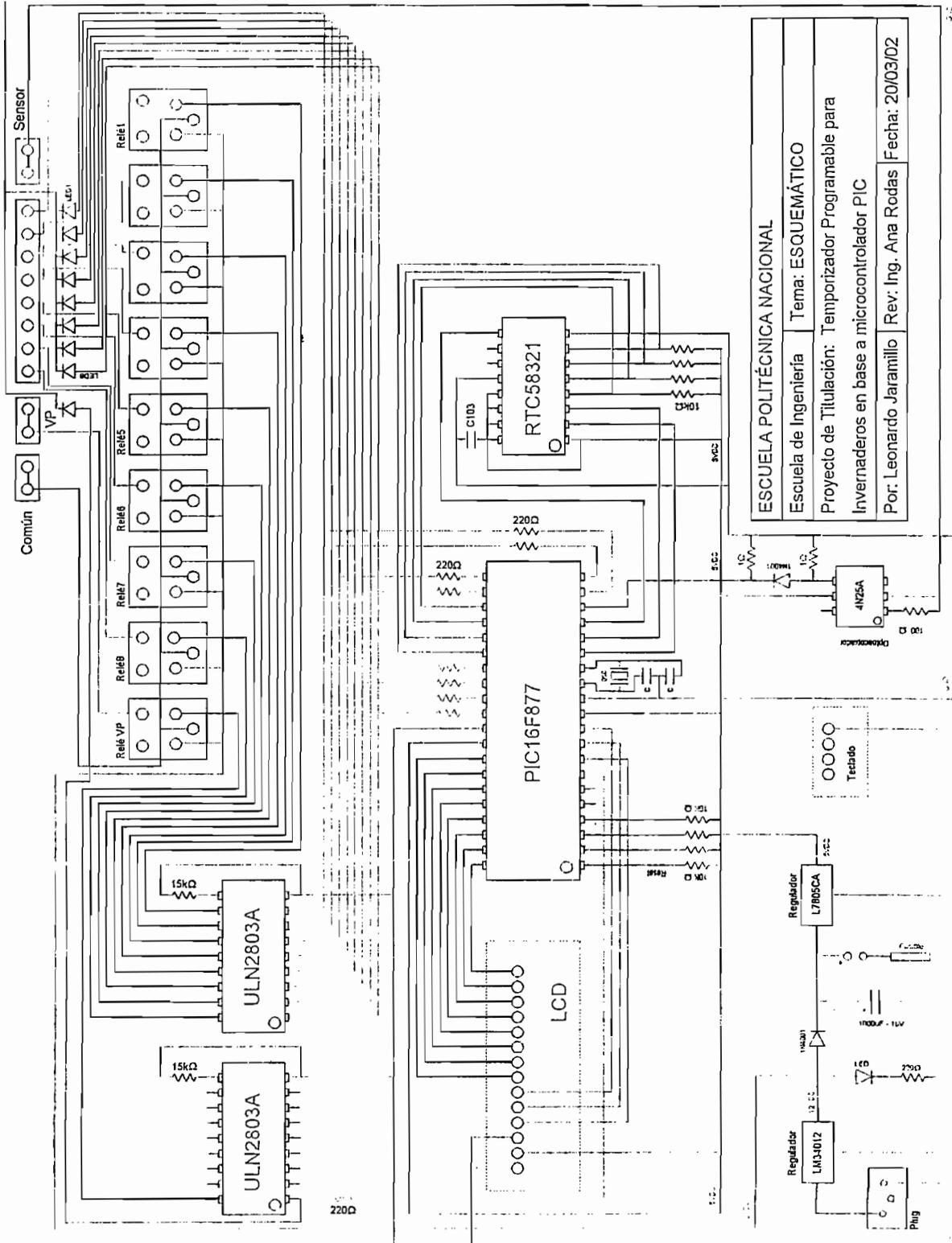
Figura No. 2.23 Circuito de Emergencia o Respaldo

La batería de respaldo es alcalina, recargable, de 8.4 VDC, 150mAh, de tipo níquel metal que la hace de larga duración y dirigida a aplicaciones de gran consumo de energía; lo que garantiza el suministro de corriente para mantener en condiciones óptimas la información en el RTC y microcontrolador.

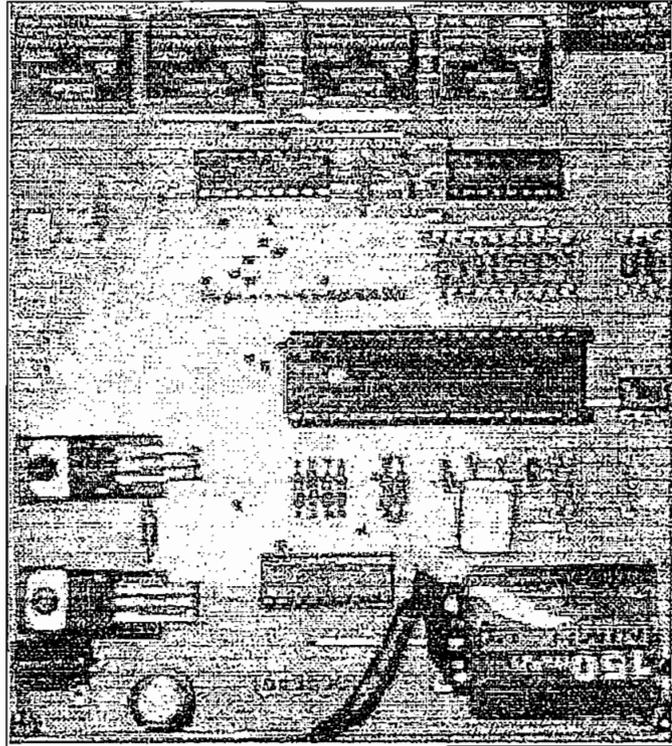
#### 2.2.4.3 PROTECCIONES

Protecciones contra corto circuito y sobrecarga vienen incorporadas en los circuitos integrados reguladores de voltaje LM340T12 y 7805C. Adicionalmente se coloca un fusible a la entrada de la alimentación de voltaje de corriente continua como se indica en la *Figura No.2.23*.

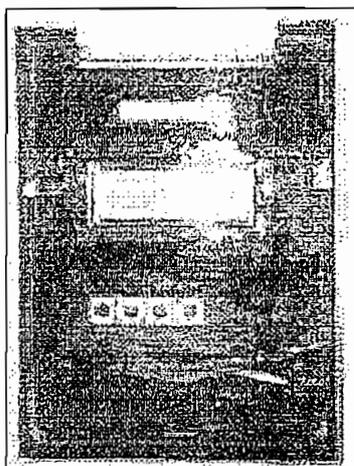
En la *Figura No.2.24* se observa el diagrama esquemático del diseño electrónico de hardware del Temporizador Programable en su totalidad, en él se acoplan todas las etapas desarrolladas y mencionadas anteriormente, tratando de ocupar el menor espacio físico posible con el fin de que la tarjeta sea compacta, con costos reducidos, de fácil montaje donde sea necesario y además tenga una estética considerable en su presentación siendo visualmente agradable como se aprecia en la *Figura No.2.26*.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
 Escuela de Ingeniería Tema: ESQUEMÁTICO  
 Proyecto de Titulación: Temporizador Programable para  
 Invernaderos en base a microcontrolador PIC  
 Por: Leonardo Jaramillo Rev: Ing. Ana Rodas Fecha: 20/03/02



*Fig. No. 2.25 Tarjeta Electrónica del Temporizador Programable*



1

*Fig. No. 2.26 Presentación Final del Temporizador Programable*

Información acerca de conexionado, modos de operación, programación de tiempos o volúmenes de riego, etc., refiérase al Manual del Usuario disponible en el Anexo.

4FH	CADA_MIN	Cada minuto (período)
50H	CADA_DIA	Cada día (período)
51H	CADA_MES	Cada mes (período)
52H	REG_CADA	Registro cada
53H	REG_VALOR	Registro valor
54H	SEG_RIEND	Segundos a contar (timer)
55H	MIN_RIEND	Minutos a contar (timer)
56H	TIMEDATA	Overflow timer
57H	REG_TIMER	Timer contando
58H	TIEMPO	Tiempo transcurrido
59H	REG_VOLUMEN	Registro volumen
5AH	RGLMCTV_END	Modo a regar (timer)
5BH	LITROZ	Volumen regado
5CH	LITROZ1	
5DH	LITROZ2	
5EH	LITROZ3	
5FH	LITROZ4	
60H	LITROZ5	
61H	VRIEGOD_END	Volumen cargado a timer
62H	VRIEGOC_END	
63H	TURNO	Turno (en espera)
64H	TURNO_V1	
65H	TURNO_V2	
66H	TURNO_V3	
67H	TURNO_V4	
68H	TURNO_V5	
69H	TURNO_V6	
6AH	TURNO_V7	
6BH	TURNO_V8	
6CH	MINU_UP	Cálculo de la siguiente hora de riego
6DH	MINU_DW	
6EH	HORA_UP	
6FH	HORA_DW	
70H	CURSOR2	Posición del cursor
71H	FLAG_2	Overflow volumen
72h	MODVALX	Modo de riego para cada válvula
73h	MODVALY	
74H	REGTV_V1	Registros ejecución de riego (tiempo/volumen)
75H	REGTV_V2	
76H	REGTV_V3	
77H	REGTV_V4	
78H	REGTV_V5	
79H	REGTV_V6	
7AH	REGTV_V7	
7BH	REGTV_V8	
7CH	TURNO_1	Turnos Disponibles
7DH	TURNO_2	
7EH	TURNO_3	
7FH	TURNO_4	

- BANCO 1 (localidades A0H – EFH). En este banco se almacenan datos de horas y minutos de arranque de riego, minutos y segundos de duración de riego, horas y minutos de parada de *riego en modo de riego semanal, cíclico y windows para las válvulas 8, 1, y 3* distribuidos como se indica a continuación:

LOCALIDAD RAM	ETIQUETA	FUNCION
------------------	----------	---------

*VALVULA 8 (PROGRAMACION MODO SEMANAL)*

*HORA\_1*

A0H	H1_ARR_V8	Hora 1 arranque de riego
A1H	M1_ARR_V8	Minutos 1 arranque de riego
A2H	M1_RIE_V8	Minutos 1 duración de riego
A3H	S1_RIE_V8	Segundos 1 duración de riego
A4H	VC1_RIE_V8	Volumen 1 dosis de riego centenas
A5H	VD1_RIE_V8	Volumen 1 dosis de riego decenas/unidades
A6H	REG1_TV_V8	Registro 1 riego por tiempo/volumen

*HORA\_2*

A7H	H2_ARR_V8	Hora 2 arranque de riego
A8H	M2_ARR_V8	Minutos 2 arranque de riego
A9H	M2_RIE_V8	Minutos 2 duración de riego
AAH	S2_RIE_V8	Segundos 2 duración de riego
ABH	VC2_RIE_V8	Volumen 2 dosis de riego centenas
ACH	VD2_RIE_V8	Volumen 2 dosis de riego decenas/unidades
ADH	REG2_TV_V8	Registro 2 riego por tiempo/volumen

*HORA\_3*

AEH	H3_ARR_V8	Hora 3 arranque de riego
AFH	M3_ARR_V8	Minutos 3 arranque de riego
B0H	M3_RIE_V8	Minutos 3 duración de riego
B1H	S3_RIE_V8	Segundos 3 duración de riego
B2H	VC3_RIE_V8	Volumen 3 dosis de riego centenas
B3H	VD3_RIE_V8	Volumen 3 dosis de riego decenas/unidades
B4H	REG3_TV_V8	Registro 3 riego por tiempo/volumen

*HORA\_4*

B5H	H4_ARR_V8	Hora 4 arranque de riego
B6H	M4_ARR_V8	Minutos 4 arranque de riego
B7H	M4_RIE_V8	Minutos 4 duración de riego
B8H	S4_RIE_V8	Segundos 4 duración de riego
B9H	VC4_RIE_V8	Volumen 4 dosis de riego centenas
BAH	VD4_RIE_V8	Volumen 4 dosis de riego decenas/unidades
BBH	REG4_TV_V8	Registro 4 riego por tiempo/volumen

**HORA\_5**

BCH	H5_ARR_V8	Hora 5 arranque de riego
BDH	M5_ARR_V8	Minutos 5 arranque de riego
BEH	M5_RIE_V8	Minutos 5 duración de riego
BFH	S5_RIE_V8	Segundos 5 duración de riego
C0H	VC5_RIE_V8	Volumen 5 dosis de riego centenas
C1H	VD5_RIE_V8	Volumen 5 dosis de riego decenas/unidades
C2H	REG5_TV_V8	Registro 5 riego por tiempo/volumen

**VALVULA 1****PROGRAMACION MODO CICLICO**

C3H	H_ARRCIC_V1	Hora de arranque de riego
C4H	M_ARRCIC_V1	Minutos arranque de riego
C5H	M_RIECIC_V1	Minutos de riego
C6H	S_SIECIC_V1	Segundos de riego
C7H	VC_RIECIC_V1	Volumen de riego centenas
C8H	VD_RIECIC_V1	Volumen de riego decenas/unidades
C9H	REG_CICTV_V1	Registro riego por tiempo/volumen

**PROGRAMACION MODO WINDOWS**

CAH	H_DESWIN_V1	Hora de arranque de riego (desde)
CBH	M_DESWIN_V1	Minutos arranque de riego (desde)
CCH	M_RIEWIN_V1	Minutos de riego
CDH	S_SIEWIN_V1	Segundos de riego
CEH	VC_RIEWIN_V1	Volumen de riego centenas
CFH	VD_RIEWIN_V1	Volumen de riego decenas/unidades
D0H	REG_WINTV_V1	Registro riego por tiempo/volumen
D1H	H_HASWIN_V1	Hora de parada de riego (hasta)
D2H	M_HASWIN_V1	Minutos parada de riego (hasta)

**VALVULA 2****PROGRAMACION MODO CICLICO**

D3H	H_ARRCIC_V2	Hora de arranque de riego
D4H	M_ARRCIC_V2	Minutos arranque de riego
D5H	M_RIECIC_V2	Minutos de riego
D6H	S_SIECIC_V2	Segundos de riego
D7H	VC_RIECIC_V2	Volumen de riego centenas
D8H	VD_RIECIC_V2	Volumen de riego decenas/unidades
D9H	REG_CICTV_V2	Registro riego por tiempo/volumen

**PROGRAMACION MODO WINDOWS**

DAH	H_DESWIN_V2	Hora de arranque de riego (desde)
DBH	M_DESWIN_V2	Minutos arranque de riego (desde)
DCH	M_RIEWIN_V2	Minutos de riego
DDH	S_SIEWIN_V2	Segundos de riego
DEH	VC_RIEWIN_V2	Volumen de riego centenas
DFH	VD_RIEWIN_V2	Volumen de riego decenas/unidades
E0H	REG_WINTV_V2	Registro riego por tiempo/volumen
E1H	H_HASWIN_V2	Hora de parada de riego (hasta)
E2H	M_HASWIN_V2	Minutos parada de riego (hasta)

- BANCO 2 (localidades 110H – 16FH). En este banco se almacenan datos de horas y minutos de arranque de riego, minutos y segundos de duración de riego, horas y minutos de parada de *riego en modo cíclico y windows para las válvulas 3, 4, 5, 6, 7 y 8* distribuidos como se indica a continuación:

LOCALIDAD RAM	ETIQUETA	FUNCION
------------------	----------	---------

**VALVULA 3**

*PROGRAMACION MODO CICLICO*

110H	H_ARRCIC_V3	Hora de arranque de riego
111H	M_ARRCIC_V3	Minutos arranque de riego
112H	M_RIECIC_V3	Minutos de riego
113H	S_SIECIC_V3	Segundos de riego
114H	VC_RIECIC_V3	Volumen de riego centenas
115H	VD_RIECIC_V3	Volumen de riego decenas/unidades
116H	REG_CICTV_V3	Registro riego por tiempo/volumen

*PROGRAMACION MODO WINDOWS*

117H	H_DESWIN_V3	Hora de arranque de riego (desde)
118H	M_DESWIN_V3	Minutos arranque de riego (desde)
119H	M_RIEWIN_V3	Minutos de riego
11AH	S_SIEWIN_V3	Segundos de riego
11BH	VC_RIEWIN_V3	Volumen de riego centenas
11CH	VD_RIEWIN_V3	Volumen de riego decenas/unidades
11DH	REG_WINTV_V3	Registro riego por tiempo/volumen
11EH	H_HASWIN_V3	Hora de parada de riego (hasta)
11FH	M_HASWIN_V3	Minutos parada de riego (hasta)

**VALVULA 4**

*PROGRAMACION MODO CICLICO*

120H	H_ARRCIC_V4	Hora de arranque de riego
121H	M_ARRCIC_V4	Minutos arranque de riego
122H	M_RIECIC_V4	Minutos de riego
123H	S_SIECIC_V4	Segundos de riego
124H	VC_RIECIC_V4	Volumen de riego centenas
125H	VD_RIECIC_V4	Volumen de riego decenas/unidades
126H	REG_CICTV_V4	Registro riego por tiempo/volumen

*PROGRAMACION MODO WINDOWS*

127H	H_DESWIN_V4	Hora de arranque de riego (desde)
128H	M_DESWIN_V4	Minutos arranque de riego (desde)
129H	M_RIEWIN_V4	Minutos de riego
12AH	S_SIEWIN_V4	Segundos de riego
12BH	VC_RIEWIN_V4	Volumen de riego centenas
12CH	VD_RIEWIN_V4	Volumen de riego decenas/unidades
12DH	REG_WINTV_V4	Registro riego por tiempo/volumen
12EH	H_HASWIN_V4	Hora de parada de riego (hasta)
12FH	M_HASWIN_V4	Minutos parada de riego (hasta)

## VALVULA 5

## PROGRAMACION MODO CICLICO

130H	H_ARRCIC_V5	Hora de arranque de riego
131H	M_ARRCIC_V5	Minutos arranque de riego
132H	M_RIECIC_V5	Minutos de riego
133H	S_SIECIC_V5	Segundos de riego
134H	VC_RIECIC_V5	Volumen de riego centenas
135H	VD_RIECIC_V5	Volumen de riego decenas/unidades
136H	REG_CICTV_V5	Registro riego por tiempo/volumen

## PROGRAMACION MODO WINDOWS

137H	H_DESWIN_V5	Hora de arranque de riego (desde)
138H	M_DESWIN_V5	Minutos arranque de riego (desde)
139H	M_RIEWIN_V5	Minutos de riego
13AH	S_SIEWIN_V5	Segundos de riego
13BH	VC_RIEWIN_V5	Volumen de riego centenas
13CH	VD_RIEWIN_V5	Volumen de riego decenas/unidades
13DH	REG_WINTV_V5	Registro riego por tiempo/volumen
13EH	H_HASWIN_V5	Hora de parada de riego (hasta)
13FH	M_HASWIN_V5	Minutos parada de riego (hasta)

## VALVULA 6

## PROGRAMACION MODO CICLICO

140H	H_ARRCIC_V6	Hora de arranque de riego
141H	M_ARRCIC_V6	Minutos arranque de riego
142H	M_RIECIC_V6	Minutos de riego
143H	S_SIECIC_V6	Segundos de riego
144H	VC_RIECIC_V6	Volumen de riego centenas
145H	VD_RIECIC_V6	Volumen de riego decenas/unidades
146H	REG_CICTV_V6	Registro riego por tiempo/volumen

## PROGRAMACION MODO WINDOWS

147H	H_DESWIN_V6	Hora de arranque de riego (desde)
148H	M_DESWIN_V6	Minutos arranque de riego (desde)
149H	M_RIEWIN_V6	Minutos de riego
14AH	S_SIEWIN_V6	Segundos de riego
14BH	VC_RIEWIN_V6	Volumen de riego centenas
14CH	VD_RIEWIN_V6	Volumen de riego decenas/unidades
14DH	REG_WINTV_V6	Registro riego por tiempo/volumen
14EH	H_HASWIN_V6	Hora de parada de riego (hasta)
14FH	M_HASWIN_V6	Minutos parada de riego (hasta)

## VALVULA 7

## PROGRAMACION MODO CICLICO

150H	H_ARRCIC_V7	Hora de arranque de riego
151H	M_ARRCIC_V7	Minutos arranque de riego
152H	M_RIECIC_V7	Minutos de riego
153H	S_SIECIC_V7	Segundos de riego
154H	VC_RIECIC_V7	Volumen de riego centenas
155H	VD_RIECIC_V7	Volumen de riego decenas/unidades

156H	REG_CICTV_V7	Registro riego por tiempo/volumen
------	--------------	-----------------------------------

*PROGRAMACION MODO WINDOWS*

157H	H_DESWIN_V7	Hora de arranque de riego (desde)
158H	M_DESWIN_V7	Minutos arranque de riego (desde)
159H	M_RIEWIN_V7	Minutos de riego
15AH	S_SIEWIN_V7	Segundos de riego
15BH	VC_RIEWIN_V7	Volumen de riego centenas
15CH	VD_RIEWIN_V7	Volumen de riego decenas/unidades
15DH	REG_WINTV_V7	Registro riego por tiempo/volumen
15EH	H_HASWIN_V7	Hora de parada de riego (hasta)
15FH	M_HASWIN_V7	Minutos parada de riego (hasta)

**VALVULA 8**

*PROGRAMACION MODO CICLICO*

160H	H_ARRCIC_V8	Hora de arranque de riego
161H	M_ARRCIC_V8	Minutos arranque de riego
162H	M_RIECIC_V8	Minutos de riego
163H	S_SIECIC_V8	Segundos de riego
164H	VC_RIECIC_V8	Volumen de riego centenas
165H	VD_RIECIC_V8	Volumen de riego decenas/unidades
166H	REG_CICTV_V8	Registro riego por tiempo/volumen

*PROGRAMACION MODO WINDOWS*

167H	H_DESWIN_V8	Hora de arranque de riego (desde)
168H	M_DESWIN_V8	Minutos arranque de riego (desde)
169H	M_RIEWIN_V8	Minutos de riego
16AH	S_SIEWIN_V8	Segundos de riego
16BH	VC_RIEWIN_V8	Volumen de riego centenas
16CH	VD_RIEWIN_V8	Volumen de riego decenas/unidades
16DH	REG_WINTV_V8	Registro riego por tiempo/volumen
16EH	H_HASWIN_V8	Hora de parada de riego (hasta)
16FH	M_HASWIN_V8	Minutos parada de riego (hasta)

- BANCO 3 (localidades 190H – 1EFH). En este banco se almacenan datos de repetición de riego (período) completando así el *ciclo de riego en modo de programación cíclico y windows para todas las válvulas* distribuidos como se indica a continuación:

LOCALIDAD RAM	ETIQUETA	FUNCION
------------------	----------	---------

**VALVULA 1**

*PROGRAMACION MODO CICLICO*

190H	CADHOR_CICV1	Riego cada hora
191H	CADMIN_CICV1	Riego cada minuto
192H	CADA_CICV1	Riego cada día
193H	CADMES_CICV1	Riego cada mes
194H	REG_CADCICV1	Registro cada

*PROGRAMACION MODO WINDOWS*

195H	CADHOR_WINV1	Riego cada hora
196H	CADMIN_WINV1	Riego cada minuto
197H	CADDIA_WINV1	Riego cada día
198H	CADMES_WINV1	Riego cada mes
199H	REG_CADWINV1	Registro cada

**VALVULA 2**

*PROGRAMACION MODO CICLICO*

19AH	CADHOR_CICV2	Riego cada hora
19BH	CADMIN_CICV2	Riego cada minuto
19CH	CADDIA_CICV2	Riego cada día
19DH	CADMES_CICV2	Riego cada mes
19EH	REG_CADCICV2	Registro cada

*PROGRAMACION MODO WINDOWS*

19FH	CADHOR_WINV2	Riego cada hora
1A0H	CADMIN_WINV2	Riego cada minuto
1A1H	CADDIA_WINV2	Riego cada día
1A2H	CADMES_WINV2	Riego cada mes
1A3H	REG_CADWINV2	Registro cada

**VALVULA 3**

*PROGRAMACION MODO CICLICO*

1A4H	CADHOR_CICV3	Riego cada hora
1A5H	CADMIN_CICV3	Riego cada minuto
1A6H	CADDIA_CICV3	Riego cada día
1A7H	CADMES_CICV3	Riego cada mes
1A8H	REG_CADCICV3	Registro cada

*PROGRAMACION MODO WINDOWS*

1A9H	CADHOR_WINV3	Riego cada hora
1AAH	CADMIN_WINV3	Riego cada minuto
1ABH	CADDIA_WINV3	Riego cada día
1ACH	CADMES_WINV3	Riego cada mes
1ADH	REG_CADWINV3	Registro cada

**VALVULA 4**

*PROGRAMACION MODO CICLICO*

1AEH	CADHOR_CICV4	Riego cada hora
1AFH	CADMIN_CICV4	Riego cada minuto
1B0H	CADDIA_CICV4	Riego cada día
1B1H	CADMES_CICV4	Riego cada mes
1B2H	REG_CADCICV4	Registro cada

*PROGRAMACION MODO WINDOWS*

1B3H	CADHOR_WINV4	Riego cada hora
1B4H	CADMIN_WINV4	Riego cada minuto
1B5H	CADDIA_WINV4	Riego cada día
1B6H	CADMES_WINV4	Riego cada mes
1B7H	REG_CADWINV4	Registro cada

**VALVULA 5**

*PROGRAMACION MODO CICLICO*

1B8H	CADHOR_CICV5	Riego cada hora
1B9H	CADMIN_CICV5	Riego cada minuto
1BAH	CADDIA_CICV5	Riego cada día
1BBH	CADMES_CICV5	Riego cada mes
1BCH	REG_CADCICV5	Registro cada

*PROGRAMACION MODO WINDOWS*

1BDH	CADHOR_WINV5	Riego cada hora
1BEH	CADMIN_WINV5	Riego cada minuto
1BFH	CADDIA_WINV5	Riego cada día
1C0H	CADMES_WINV5	Riego cada mes
1C1H	REG_CADWINV5	Registro cada

**VALVULA 6**

*PROGRAMACION MODO CICLICO*

1C2H	CADHOR_CICV6	Riego cada hora
1C3H	CADMIN_CICV6	Riego cada minuto
1C4H	CADDIA_CICV6	Riego cada día
1C5H	CADMES_CICV6	Riego cada mes
1C6H	REG_CADCICV6	Registro cada

*PROGRAMACION MODO WINDOWS*

1C7H	CADHOR_WINV6	Riego cada hora
1C8H	CADMIN_WINV6	Riego cada minuto
1C9H	CADDIA_WINV6	Riego cada día
1CAH	CADMES_WINV6	Riego cada mes
1CBH	REG_CADWINV6	Registro cada

**VALVULA 7**

*PROGRAMACION MODO CICLICO*

1CDH	CADHOR_CICV7	Riego cada hora
1CEH	CADMIN_CICV7	Riego cada minuto
1CFH	CADDIA_CICV7	Riego cada día
1D0H	CADMES_CICV7	Riego cada mes
1D1H	REG_CADCICV7	Registro cada

*PROGRAMACION MODO WINDOWS*

1D1H	CADHOR_WINV7	Riego cada hora
1D2H	CADMIN_WINV7	Riego cada minuto
1D3H	CADDIA_WINV7	Riego cada día
1D4H	CADMES_WINV7	Riego cada mes
1D5H	REG_CADWINV7	Registro cada

**VALVULA 8***PROGRAMACION MODO CICLICO*

1D5H	CADHOR_CICV8	Riego cada hora
1D6H	CADMIN_CICV8	Riego cada minuto
1D7H	CADDIA_CICV8	Riego cada día
1D8H	CADMES_CICV8	Riego cada mes
1D9H	REG_CADCICV8	Registro cada

*PROGRAMACION MODO WINDOWS*

1DAH	CADHOR_WINV8	Riego cada hora
1DBH	CADMIN_WINV8	Riego cada minuto
1DCH	CADDIA_WINV8	Riego cada día
1DDH	CADMES_WINV8	Riego cada mes
1DEH	REG_CADWINV8	Registro cada

Como se puede observar no todas las localidades están utilizadas. Los bytes o localidades de memoria de datos disponibles están disponibles para futuras ampliaciones en lo que a software se refiere.

### 3.1.3.3 DISTRIBUCION DE LA MEMORIA DE PROGRAMA TIPO FLASH DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877

El microcontrolador PIC16F877 cuenta con 8Kbytes de memoria de programa tipo FLASH que permite grabar eléctricamente al elemento un indeterminado número de veces. Está dividida en cuatro páginas de 2Kbytes cada una como se indica en la siguiente figura:

Vector de Reset	0000h
Vector de Interrupciones	0004h
Página 0	0005h 07FFh
Página 1	0800h 0FFFh
Página 2	1000h 17FFh
Página 3	1800h 1FFFh

*Figura No. 3.2 Mapa de Memoria de Programa del Microcontrolador PIC16F877*

Las páginas de memoria y las subrutinas más importantes se han distribuido de la siguiente manera en la memoria de programa:

- **PÁGINA 0** (localidades 0005h – 07FFh). Aquí se encuentra la subrutina de inicialización del microcontrolador, LCD y RTC; la subrutina de visualización de menús y submenús de programación; subrutina de calibración del Temporizador para manejo del sensor (hidrómetro); subrutina de ajuste y visualización de calendario y reloj; subrutinas de copiado - pegado de localidades de memoria RAM utilizando direccionamiento indirecto; subrutinas de TEST a válvulas sensor y por último la subrutina de riego emergente.
- **PÁGINA 1** (localidades 0800h – 0FFFh). Aquí se encuentran las subrutinas de ingreso de datos, almacenamiento y visualización de primera y segunda ventana de programación en modo de riego automático. Estas son las subrutinas más grandes del programa.

- **PÁGINA 2 (localidades 1000h – 17FFh).** Aquí se encuentran las subrutinas de ingreso de datos, almacenamiento y visualización de la tercera y última ventana de programación en modo de riego automático, además de la subrutina que permite calcular la siguiente fecha de riego.
- **PÁGINA 3 (localidades 1800h – 1FFFh).** Aquí se encuentran las subrutinas que ejecutan el riego en modo automático y emergente, subrutinas de orden de cierre - apertura de válvulas en tiempos, horarios y fechas establecidas; además existe en esta página un espacio de memoria considerable para futuras aplicaciones.

Con esta disposición se hace notoria la utilización de casi toda la capacidad de la memoria de programa optimizando de esa manera recursos de hardware y software.

#### 3.1.4 SUBROUTINAS DE CONFIGURACIÓN

El programa principal se encarga de configurar el PIC para que maneje los periféricos, el LCD, el RTC, ajuste el tiempo y luego dependiendo de las teclas presionadas se acceda a ventanas de ingreso de datos y de ejecución tareas principales.

Estas tareas principales se hallan a su vez procesadas por un programa principal cuyo diagrama de flujo se indica en la *Figura No. 3.3*.

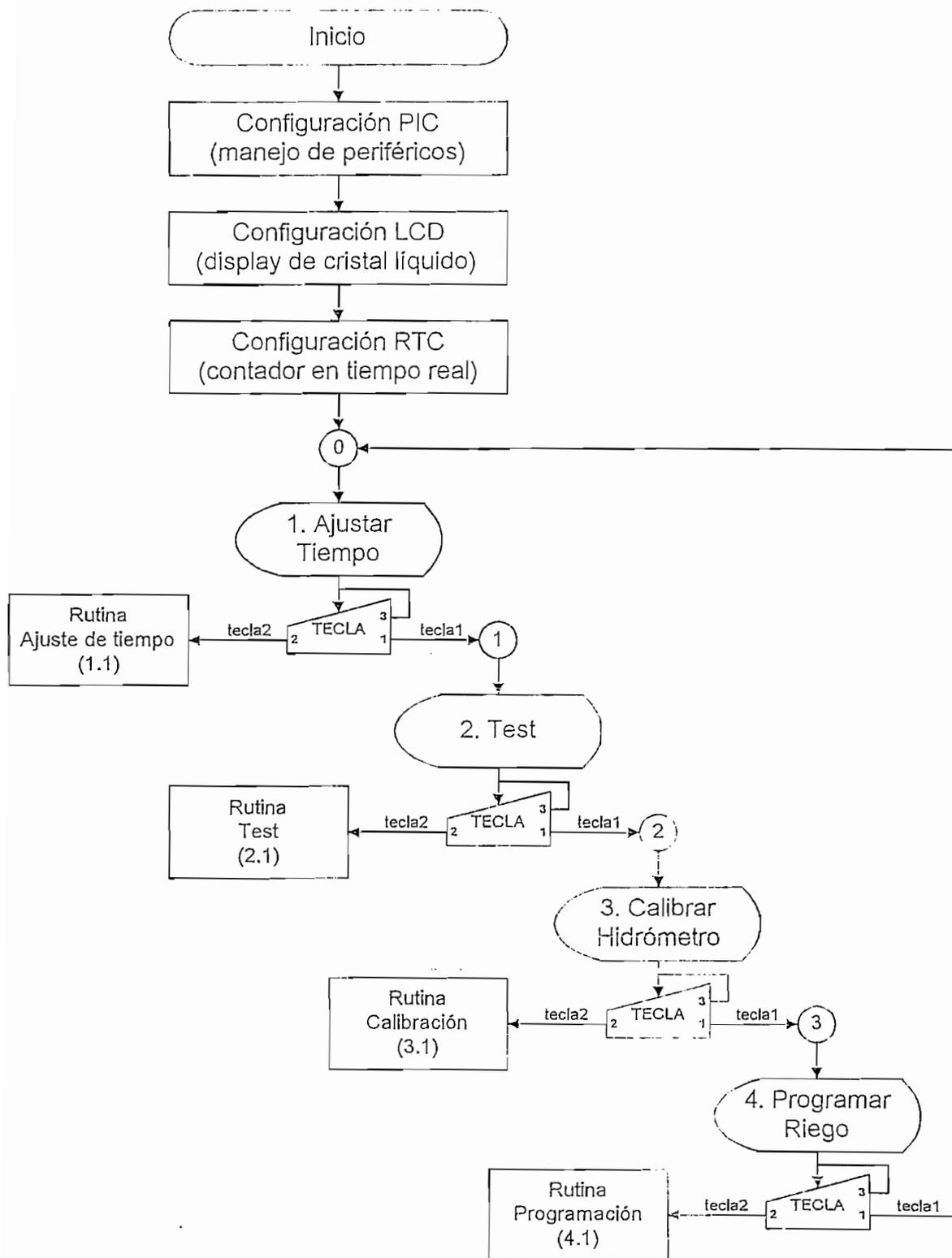


Figura No. 3.3 Diagrama de Flujo de Programa Principal

Como se aprecia en la *Figura No. 3.3*, el programa principal tiene tres subprogramas a los cuales se accede solo una sola vez cuando el equipo ha sido encendido por primera vez y luego el programa principal setea constantemente los parámetros de control para el microcontrolador; chequea permanentemente el estado de los interruptores de operación (teclado) y dependiendo del estado de éstos, ingresa (o sale) y visualiza las tareas incluidas en el programa.

### 3.1.4.1 CONFIGURACIÓN DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877 PARA MANEJO DE PERIFERICOS

Como se describió en el hardware, todo periférico es manejado desde los puertos del microcontrolador, por esta razón es obvia la configuración por software de los mismos como se indica en la *Figura No. 3.4*.

Los registros TRISA, TRISB, TRISC, TRISD y TRISE, (Banco 1 memoria de datos RAM localidades 85h, 86h, 87h, 88h y 89h respectivamente) permiten configurar a los Puertos A, B, C, D y E como entradas o salidas; así, cuando a uno o todos los bits de dicho registro se les da el valor de 1, éste o todos se configurarán como entradas y cuando se le da el valor de 0 como salidas, por tanto:

```

movlw    0xFF    ;FFh al acumulador (en 1L cada bit)
movwf   TRISA   ;TRISA = FFh. Puerta A entradas (teclado)
clrf    TRISB   ;TRISB = 00h. Puerta B salida (bus datos lcd)
clrf    TRISC   ;TRISC = 00h. Puerta C salidas (rtc)
clrf    TRISD   ;TRISD = 00h. Puerta D salidas (relés)
clrf    TRISE   ;TRISE = 00h. Puerta E salidas (control lcd)

```

De inicio se garantiza que en los puertos configurados como salidas no haya ningún valor, para ello se les da el valor de 00h (bits en 0L).

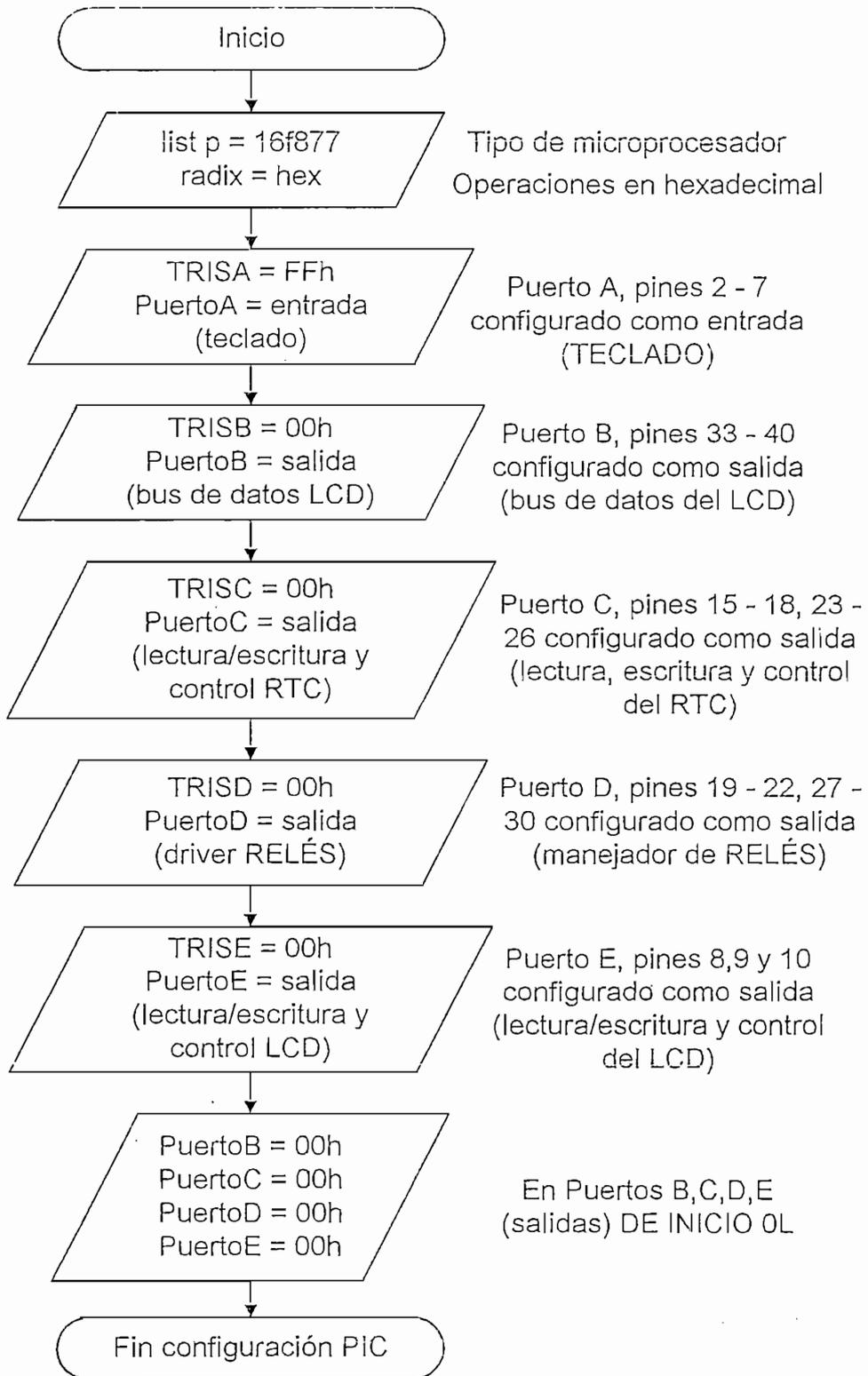


Figura No. 3.4 Configuración del Microcontrolador para Manejo de Periféricos

### 3.1.4.2 CONFIGURACIÓN DEL DISPLAY DE CRISTAL LIQUIDO (LCD)

El módulo LCD responde a una serie de comandos con los que se puede gobernar sus distintas opciones de trabajo y que puede enviarle el PIC por las líneas D7 - D0 cuando RS = 0 y R/W# = 0, para trabajar en modo escritura. La *Tabla No.3.2* muestra el conjunto de comandos y los códigos básicos de un módulo LCD.

Todo módulo LCD debe inicializarse debido a que éste tiene un conjunto de elementos internos que hacen posible su funcionamiento y el modo de operación del módulo LCD, para indicar como deberá operar la pantalla.

La *Tabla 3.1* presentada a continuación, está referida a las nomenclaturas utilizadas en la *Tabla No. 3.2*.

Símbolo	Variable = 1	Variable = 0
I/D	I/D=1 Incrementa el cursor en una posición	I/D=0 Decrementa el cursor en una posición
D	D=1 Pantalla encendida	D=0 Pantalla apagada
C	C=1 Cursor Encendido	C=0 Cursor Apagado
B	B=1 Intermitencia del cursor Encendida	B=0 Intermitencia del cursor Apagada
S/C	S/C=1 Mover todo el texto	S/C=0 Mover el cursor
R/L	R/L=1 Mover todo el texto a la Izquierda	R/L=0 Mover todo el texto a la Derecha
DL	DL=1 Bus de datos de 8 bits	DL=0 Bus de datos de 4 bits
S	S=1 Desplazamiento del texto	S=0 Sin desplazamiento de texto
BF	BF=1 Operación interna en Progreso	BF=0 No acepta instrucción
F	F=1 Matriz para el carácter de 5x10 pixels	F=0 Matriz del carácter de 5x7 pixels
N	N=1 Activación de dos líneas	N=0 Activación de 1 línea

*Tabla No. 3.1 Variables, Simbología y modo de Operación del LCD*

Instrucción	CODIGO										Descripción	Tiempo de ejecución	
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0			
Borrar Pantalla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Borra la pantalla y retorna el cursor a la dirección 80h ( home )	1.64 mS.
Cursor Home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	-	Retorna el cursor al inicio ( Dirección 80h )	1.64 mS.
Modo de entrada de caracteres	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S		I/D=0 Decrementa la posición del cursor, I/D=1 incrementa la posición del cursor, S=0 El texto de la pantalla no se desplaza, S=1 El texto de la pantalla se desplaza en el momento que se escribe un carácter.	40 uS.
Apagado y encendido de la pantalla.	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B		D=0 Pantalla apagada, D=1 Pantalla encendida, C=0 Cursor apagado, C=1 Cursor encendido, B=0 Intermitencia del cursor apagado, B=1 Intermitencia del cursor encendido.	40 uS.
Cursor and Display Shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-			40 uS.
Funlton Set	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-			40 uS.
Set CG RAM address	0	0	0	1	ACG							40 uS.	
Set DD RAM address	0	0	1	ADD							40 uS.		
Ready busy flag & address	0	1	BF	AC							1 uS.		
Write data to CG or DD RAM	1	0	Escribir el Dato							120 uS.			
Read data to CG or DD RAM	1	1	Leer el Dato							40 uS.			

Tabla No. 3.2 Instrucciones Básicas del Módulo LCD

La inicialización representa las instrucciones que deberán ser ejecutadas por el módulo LCD antes de su funcionamiento normal; para realizar esta tarea se crea la subrutina de nombre LCD\_INI (inicialización); las instrucciones que están dentro de dicha subrutina de inicialización solamente se ejecutan después que se enciende por primera vez el módulo LCD y no pueden ser cambiadas posteriormente.

Los parámetros que son ejecutados al llamar a la subrutina de inicialización antes de comenzar a funcionar el módulo LCD son:

1. Tiempo de retardo de 15ms. para garantizar que el voltaje de alimentación del módulo LCD (Vdd) haya alcanzado el nivel de voltaje de alimentación permisible que es de 4.5 VDC.
2. Selección de la longitud del bus de datos de 8 bits.
3. Para visualización: selección de 2 de líneas y 16 caracteres (8 caracteres por línea).
4. Tamaño de la matriz de impresión para cada carácter de 5x7 pixels.
5. Encender el módulo LCD.

Otra subrutina importante en el manejo del módulo LCD es la subrutina llamada LCD\_REG (registro); esta subrutina ejecuta las instrucciones que se refieren al modo de operación o modo de visualización en el LCD, pone al elemento en modo escritura y luego envía por el bus de datos las instrucciones que se deben ejecutar (instrucciones referidas a la *Tabla No.3.2*); las siguientes instrucciones son llamadas en el transcurso del programa y la subrutina LCD\_REG hace posible su ejecución:

- Mantener el mensaje fijo y desplazar el cursor.
- Hacer que el carácter señalado parpadee o no (cursor activado).

Con toda esta información se puede entender el flujograma de inicialización y configuración del módulo LCD que se presenta a continuación:

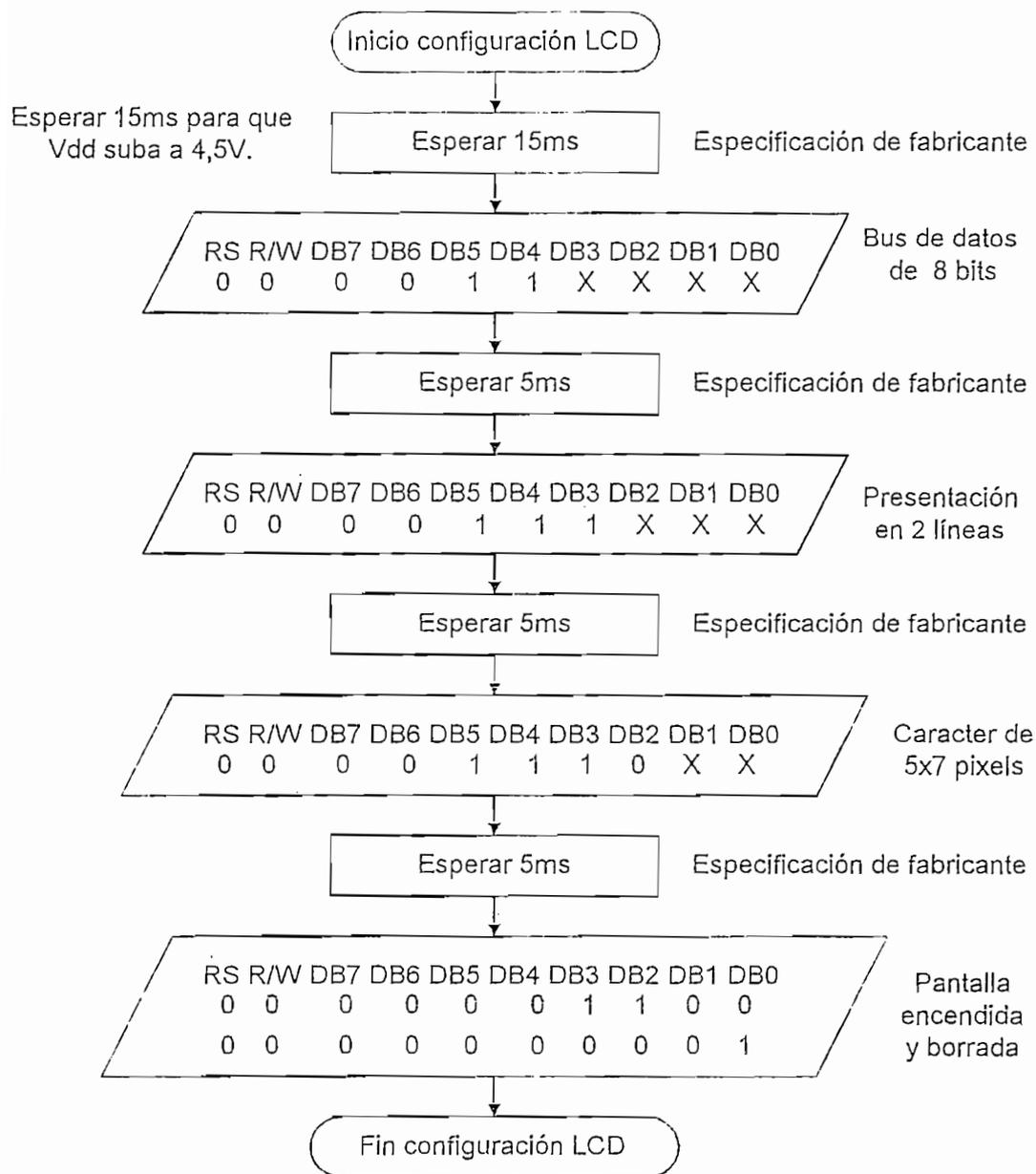


Figura No. 3.5 Configuración e Inicialización del Módulo LCD

### 3.1.4.3 CONFIGURACIÓN DEL RELOJ EN TIEMPO REAL (RTC)

El software que permite manejar al reloj en tiempo real RTC posee 3 bits de control:

- *BIT ADDRESS WRITE (AW)*, este bit le dice al RTC que el dato que se encuentra en el bus de datos será la dirección que va a ser leída o escrita (apuntada).
- *BIT WRITE\_RTC (W\_RTC)*, este bit le dice al RTC que la dirección elegida (presente en el bus de datos) va a ser ESCRITA.
- *BIT READ\_RTC (R\_RTC)*, este bit le dice al RTC que la dirección elegida (presente en el bus de datos) va a ser LEIDA.

Además posee 16 direcciones o localidades de memoria (0h – Fh) independientes, en donde se puede leer o escribir (igualar) datos de calendario y reloj como indica *Tabla No.3.3* otorgada por el fabricante del elemento:

Address	D3 A3	D2 A2	D1 A1	D0 A0	Name of register	D3	D2	D1	D0	Count	Note
0h	0	0	0	0	S <sub>1</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	0 to 9	1- sec. digit register
1h	0	0	0	1	S <sub>10</sub>	*	S <sub>40</sub>	S <sub>20</sub>	S <sub>10</sub>	0 to 5	10 - sec. digit register
2h	0	0	1	0	Ml <sub>1</sub>	mi <sub>8</sub>	mi <sub>4</sub>	mi <sub>2</sub>	mi <sub>1</sub>	0 to 9	1 - min. digit register
3h	0	0	1	1	Ml <sub>10</sub>	*	mi <sub>40</sub>	mi <sub>20</sub>	mi <sub>10</sub>	0 to 5	10 - min. digit register
4h	0	1	0	0	H <sub>1</sub>	h <sub>8</sub>	h <sub>4</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>1</sub>	0 to 9	1 - hour digit register
5h	0	1	0	1	H <sub>10</sub>	24/12	PM/AM	h <sub>20</sub>	h <sub>10</sub>	0 to 2 0 to 1	10 - hour digit register
6h	0	1	1	0	W	*	w <sub>4</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>1</sub>	0 to 6	Week register
7h	0	1	1	1	D <sub>1</sub>	d <sub>8</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	0 to 9	1 - day digit register
8h	1	0	0	0	D <sub>10</sub>	Leap year selection		d <sub>20</sub>	d <sub>10</sub>	0 to 3	10 - day digit register
9h	1	0	0	1	MO <sub>1</sub>	mo <sub>8</sub>	mo <sub>4</sub>	mo <sub>2</sub>	Mo <sub>1</sub>	0 to 9	1- month digit register
Ah	1	0	1	0	MO <sub>10</sub>	*			Mo <sub>10</sub>	0 to 1	10 -month digit register
Bh	1	0	1	1	Y <sub>1</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>4</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>1</sub>	0 to 9	1 - year digit register
Ch	1	1	0	0	Y <sub>10</sub>	y <sub>80</sub>	y <sub>40</sub>	y <sub>20</sub>	y <sub>10</sub>		10 - year digit register
Dh	1	1	0	1	-	*					Reset register
Eh	1	1	1	0	-	1 hour	1min.	1 sec.	1024 Hz		Standard signal register
Fh	1	1	1	1	-						

Tabla No. 3.3 Registros, Direcciones o Localidades de Memoria del RTC

Para tener acceso a cualquier localidad de memoria, el RTC tiene implementado un bus de datos bidireccional de 4 bits (D3 – D0) por donde fluyen la dirección y el dato a ser leído o escrito.

Para leer o escribir un dato en cualquier localidad de memoria del RTC se crean dos subrutinas llamadas `READ_RTC` y `WRITE_RTC` para leer y escribir al elemento respectivamente, la información requerida por estas subrutinas antes de ser llamadas es: la dirección y el valor a ser escrito en caso de llamar a la subrutina `WRITE_RTC` y la dirección del dato a ser leído en el caso de llamar a la subrutina `READ_RTC`. Cuando estas subrutinas son llamadas, desarrollan el siguiente procedimiento:

- Escribir en el bus de datos (D3 – D0) la dirección que va a ser leída o escrita.
- Habilitar el bit ADDRESS WRITE (AW) con lo que el RTC apunta a dicha dirección.
- Escribir en el bus de datos el valor a ser escrito en la dirección apuntada (en caso de que se quiera escribir un dato).
- Habilitar el bit READ RTC (R\_RTC) si se quiere leer el dato presente en la dirección apuntada o habilitar el bit WRITE RTC (W\_RTC) si se quiere escribir el nuevo dato presente en el bus de datos en la dirección apuntada con anterioridad.

Después de cada instrucción el fabricante recomienda dejar transcurrir 1uS para garantizar que la lectura o escritura en el elemento se efectúe de manera correcta.

Para el temporizador de riego, se hace notoria la necesidad de configurar las horas en modo 24 horas (las horas varían de 0 a 23), para tener un mejor manejo de tiempo de riego y evitar confusiones en lo que a hora del día, de la tarde o de la madrugada se refiere. Así, con lo expuesto anteriormente, se hace claro el entendimiento del flujograma que se presenta a continuación acerca de la inicialización del RTC en modo 24 horas.

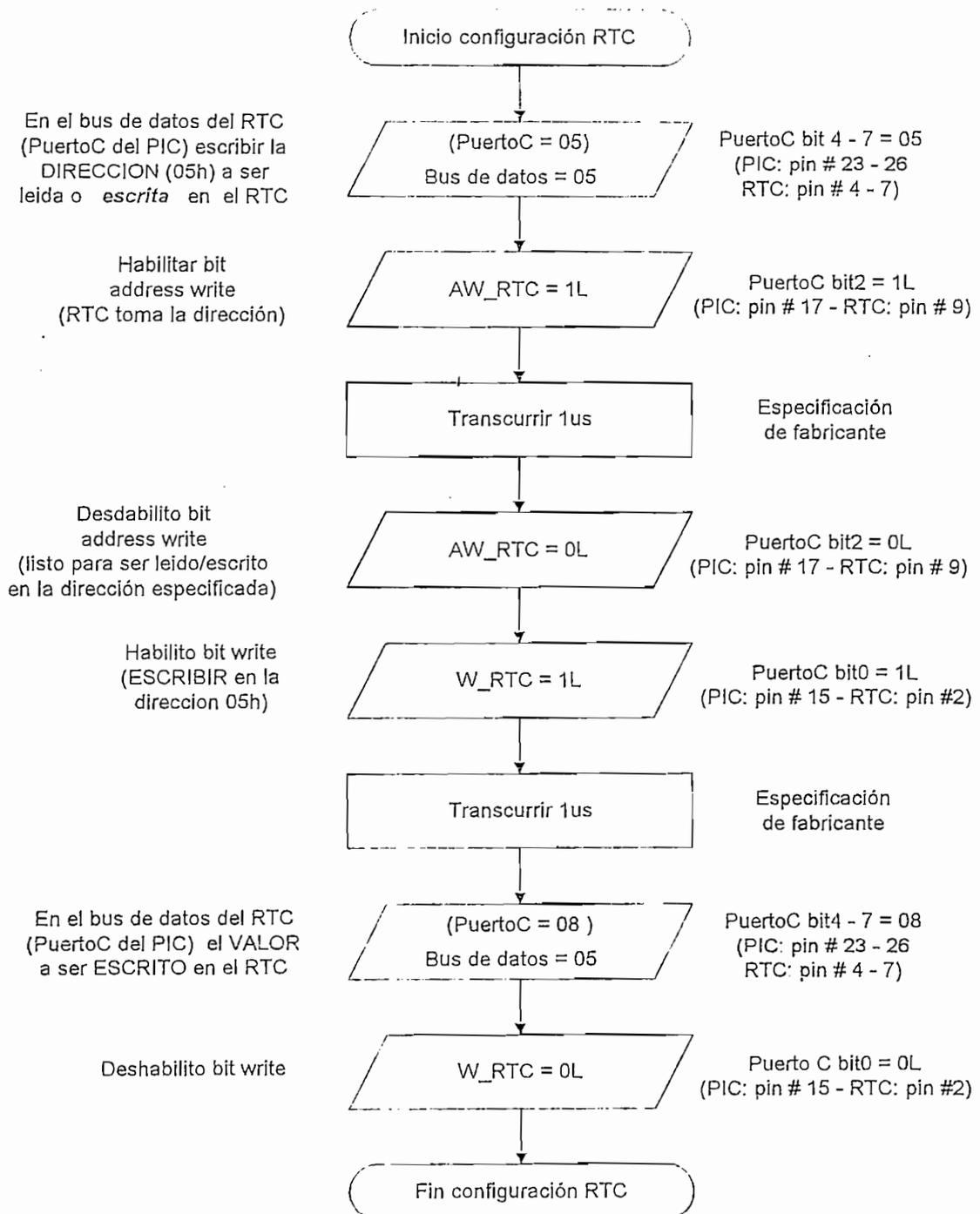


Figura No. 3.6 Inicialización del RTC

#### 3.1.4.4 AJUSTE DE TIEMPO

La primera ventana de programación está dirigida a "ajustar el tiempo", esto es, igualar parámetros de tiempo y calendario tales como: horas, minutos, día de la semana, día del mes, mes y año.

Esta ventana está directamente relacionada con el reloj en tiempo real RTC que es el que proporciona dicha información. Cabe recordar que de inicio el RTC se encuentra configurado en modo 24 horas, además no se tiene acceso a los segundos (unidades y decenas) porque resulta impráctico "igualar segundos".

La subrutina encargada de efectuar el ajuste de tiempo se llama AJUST\_TIME, en general el software de esta subrutina está basado en contadores que crecen o decrecen dependiendo del valor que esté relacionado con ellos. Así, los minutos varían de 0 a 59, las horas de 0 a 23, los días de la semana de 0 a 6 entendiéndose la variación como 0 domingo y 6 sábado, los días del mes de 0 a 31 (dependiendo del mes), los meses de 0 a 11, entendiéndose como 0 enero y 11 diciembre, los años varían de 0 a 99 pudiendo manejar así un calendario de 100 años que para nuestro caso sería del año 2000 al año 2099.

No necesariamente se está obligado a cambiar los valores de tiempo; cuando se entra a esta parte del programa se puede visualizar el valor del tiempo, o ajustar los parámetros de tiempo, para lo cual el software da la facilidad de salir y entrar las veces que quiera.

La subrutina de ajuste de tiempo da la opción de escribir y/o visualizar tiempos y fechas del tipo: lunes, 08 de abril del 2002 / 21:46:35

A continuación se indica el diagrama de flujo:

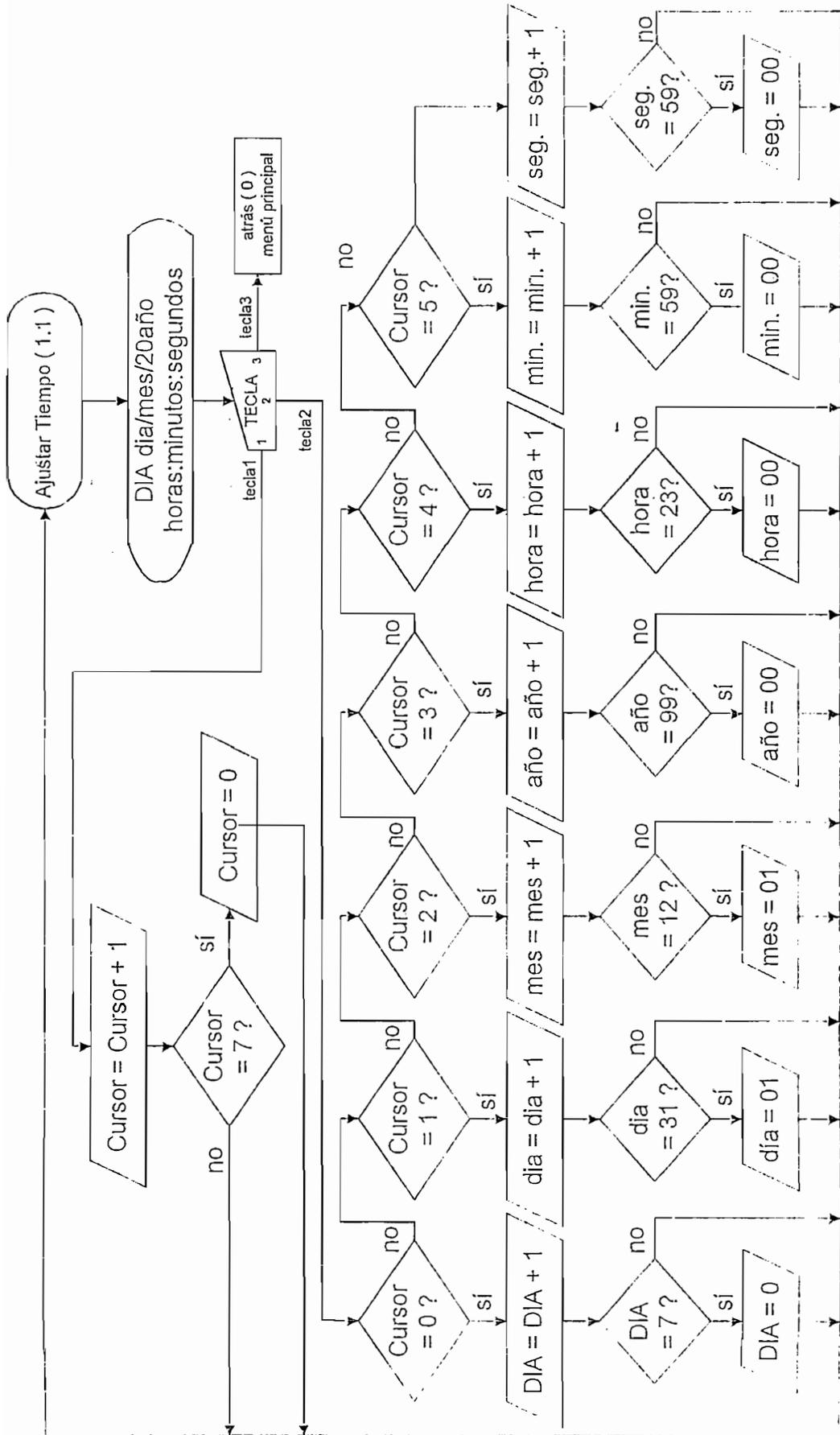


Figura No. 3.7 Ajuste de Tiempo

### 3.1.4.5 TEST

La segunda ventana de programación se encarga de realizar un test de funcionamiento a las ocho válvulas auxiliares, a la válvula principal y a la señal proveniente del sensor.

#### 3.1.4.5.1 TEST DEL SENSOR

La subrutina TEST\_SENSOR implementada en el microcontrolador, permite realizar un test sencillo pero efectivo dirigido a la señal proveniente del sensor (hidrómetro).

Para esto se toma la señal del sensor que es una señal TTL (nivel 1L o 0L) opto - conectado a un pín de un puerto del microcontrolador) y se lo imprime constantemente cada 25mS (para que el ojo humano pueda apreciarlo, además el sensor no entrega ninguna señal en este corto tiempo de espera y así no se pierde información) en el LCD en forma de onda cuadrada que es su forma real si la señal recibida está en optimas condiciones, caso contrario se visualizará una sola línea que indicará que el equipo no está recibiendo ninguna señal para avisar al usuario que se debe tomar acciones correctivas.

El software garantiza la entrada o salida a esta subrutina en cualquier instante, setea constantemente si las teclas de parada de test y salida a la segunda ventana de programación han sido presionadas.

El diagrama de flujo explicativo de esta subrutina o subprograma se lo presenta a continuación en la *Figura No. 3.8*.

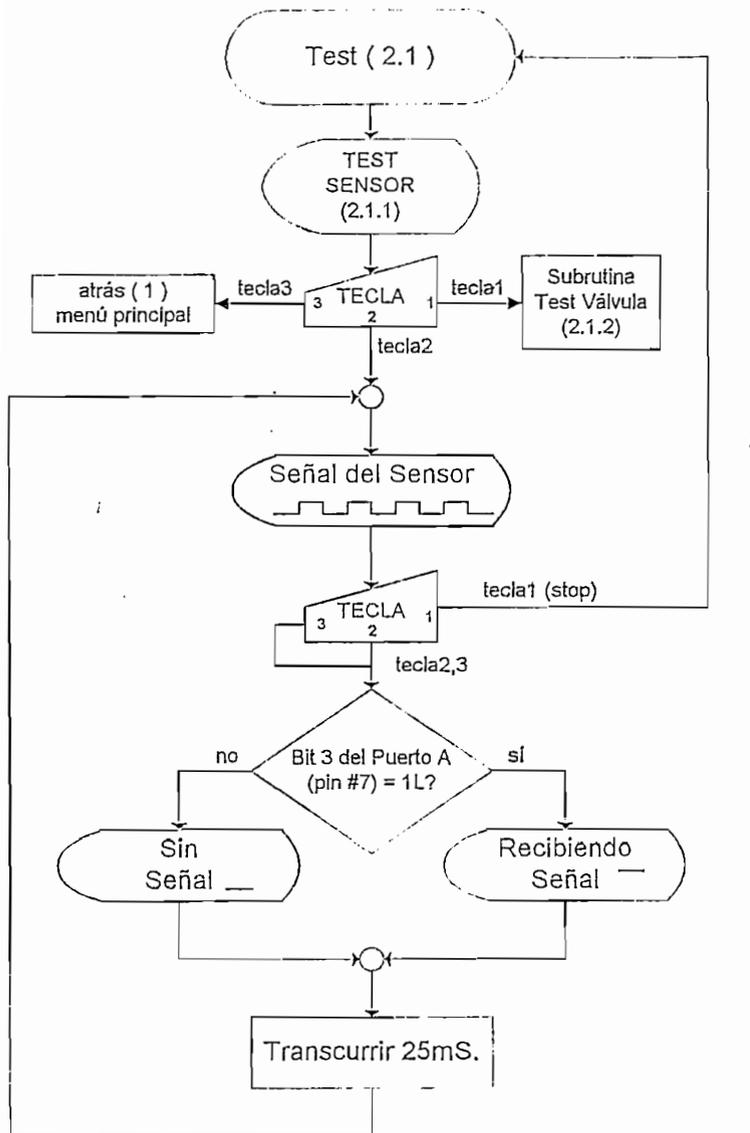


Figura. No. 3.8 Test del Sensor

### 3.1.4.5.2 TEST DE VÁLVULAS

La subrutina TEST\_VALV se encarga de revisar el correcto funcionamiento de las válvulas, tanto de las ocho válvulas auxiliares como de la válvula principal.

Para evitar las caídas de presión en el conexionado hidráulico NO DEBE ACTIVARSE O ABRIRSE MAS QUE UNA VÁLVULA AUXILIAR A LA VEZ, y es la única restricción con la que se enfrenta esta parte del programa.

La válvula principal es la que da paso a las válvulas auxiliares ya que es la que maneja toda la presión del sistema hidráulico, con lo que se hace obvio que cada vez que se quiera activar o abrir una válvula auxiliar primero deberá activarse la válvula principal.

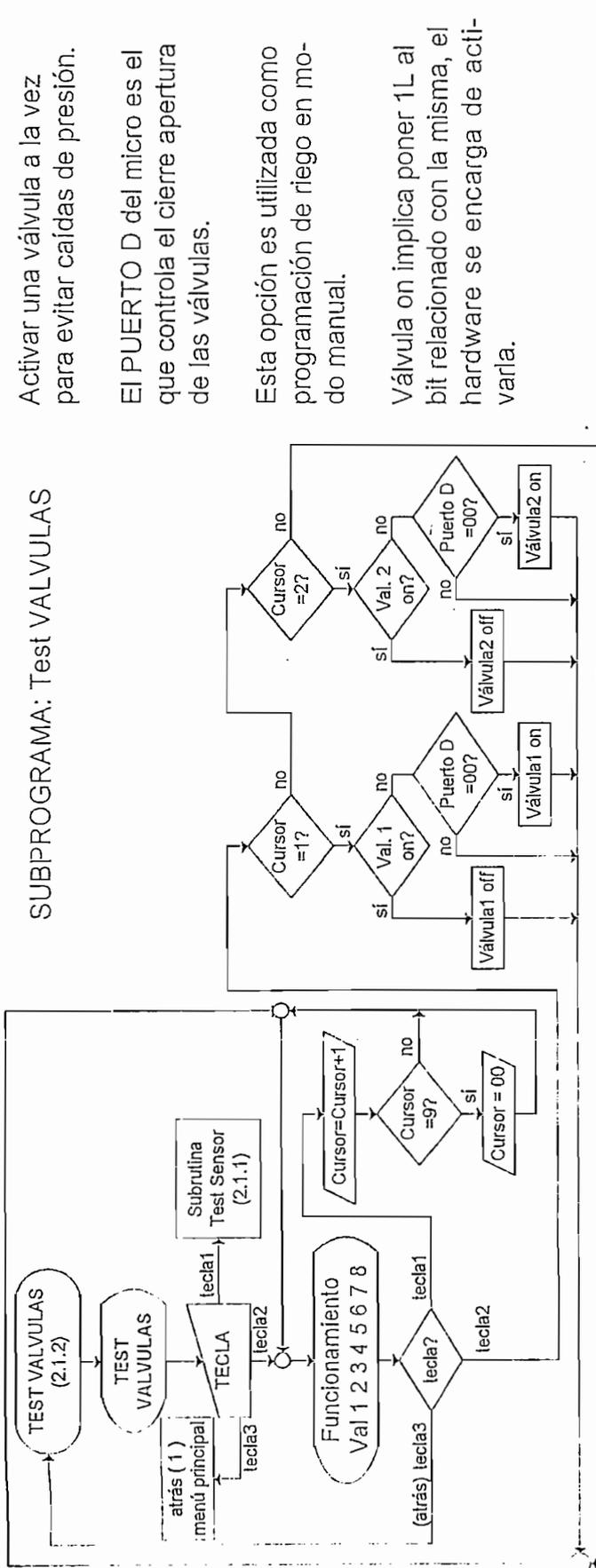
La lógica a seguir una vez que se ha llamado a esta subrutina es la siguiente:

- El desplazamiento y posicionamiento del cursor en el LCD (efectuado por el agricultor) indicará la válvula a ser abierta o cerrada.
- Si no hay otra válvula abierta se puede proceder a hacerlo, caso contrario el software obligará al usuario a desactivar la válvula encendida para proceder a activar cualquier otra.

Es importante señalar que esta subrutina permite hacer RIEGO MANUAL, ya que el agricultor puede abrir y cerrar cualquier válvula en cualquier instante y con cualquier duración o tiempo de riego. Con el fin de dar una mejor ayuda o soporte en lo que a riego manual se refiere, se ha agregado en el LCD las horas y minutos actuales para que el agricultor lleve un registro aproximado de cuantos minutos o cuantas horas permanecen abiertas o cerradas las válvulas (ciclo de riego).

El desarrollo de esta parte del programa se lo presenta en la *Figura No. 3.9*.

### SUBPROGRAMA: Test VALVULAS



Activar una válvula a la vez para evitar caídas de presión.

El PUERTO D del micro es el que controla el cierre apertura de las válvulas.

Esta opción es utilizada como programación de riego en modo manual.

Válvula on implica poner 1L al bit relacionado con la misma, el hardware se encarga de activarla.

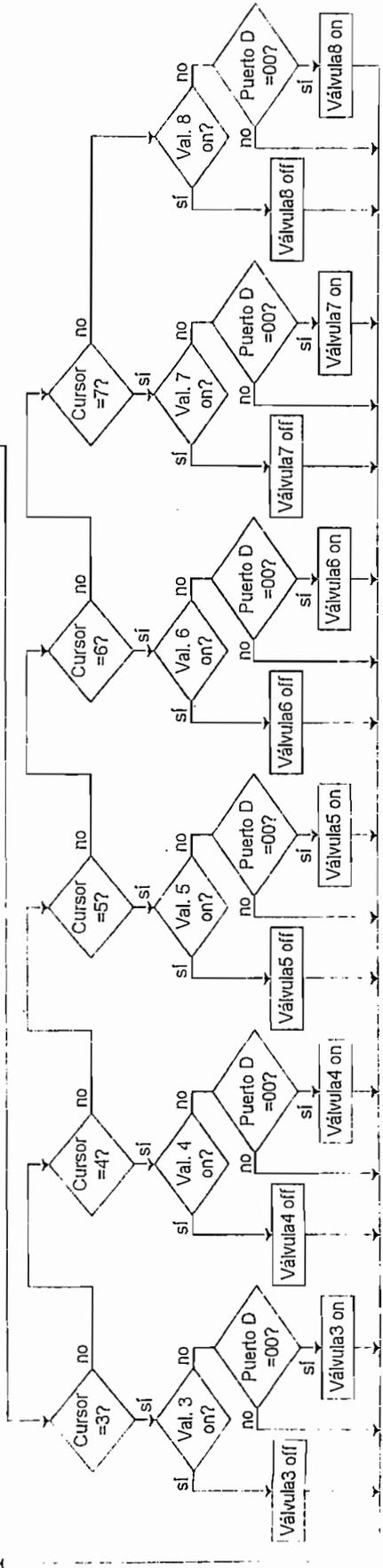


Figura No.3.9 Test de Válvulas

### 3.1.4.6 CALIBRACION DEL EQUIPO PARA MANEJO DEL HIDROMETRO

El hidrómetro es un sensor que combina en una misma unidad un medidor de agua o líquido y una válvula hidráulica. La válvula es activada o desactivada electromecánicamente por un resorte. El funcionamiento es posible mediante el uso de válvulas piloto y válvulas solenoides (que son las utilizadas en invernaderos florícolas) las mismas que transmiten señales hidráulicas al hidrómetro con el fin de saber cuanta agua o líquido ha circulado por ellas.

A nivel de fertiriego se disponen de hidrómetros que generan un pulso cada cierta cantidad de agua o líquido que se ha regado (o fluido por ellos). La tabla que se presenta a continuación indica valores típicos de hidrómetros utilizados en invernaderos:

SALIDA DISPONIBLE	
(m <sup>3</sup> /pulso)	(litros/pulso)
0,001	1
0,01	10
0,1	100
1	1000 (máx.)

*Tabla No. 3.4 Salidas Típicas Disponibles en Hidrómetros para Invernaderos*

Para que el equipo conozca el equivalente del pulso recibido respecto al volumen de líquido regado (que es el mismo volumen que fluye por el hidrómetro) se hace necesaria una calibración; para ello, se crea la subrutina llamada CALIB\_HIDRO que es la que almacenará el valor pulso/litro o pulso/m<sup>3</sup> ingresado por el usuario; el valor final elegido por el agricultor, será el equivalente a utilizar, además, este valor se almacenará en las localidades 2Dh (unidades y decenas), 2Eh (centenas).

BANCO 0 (RAM)	2Dh	HIDRO	unidades y decenas
	2Eh	HIDRO1	centenas

*Tabla No. 3.5 Localidades de Memoria para Manejo de Hidrómetro*

En resumen, el hidrómetro genera un pulso cada vez que se riega una cantidad de agua o líquido, el microcontrolador debe saber el equivalente entre el pulso recibido y el volumen regado, de allí la necesidad de esta calibración y de la creación de la subrutina cuyo diagrama de flujo se indica a continuación:

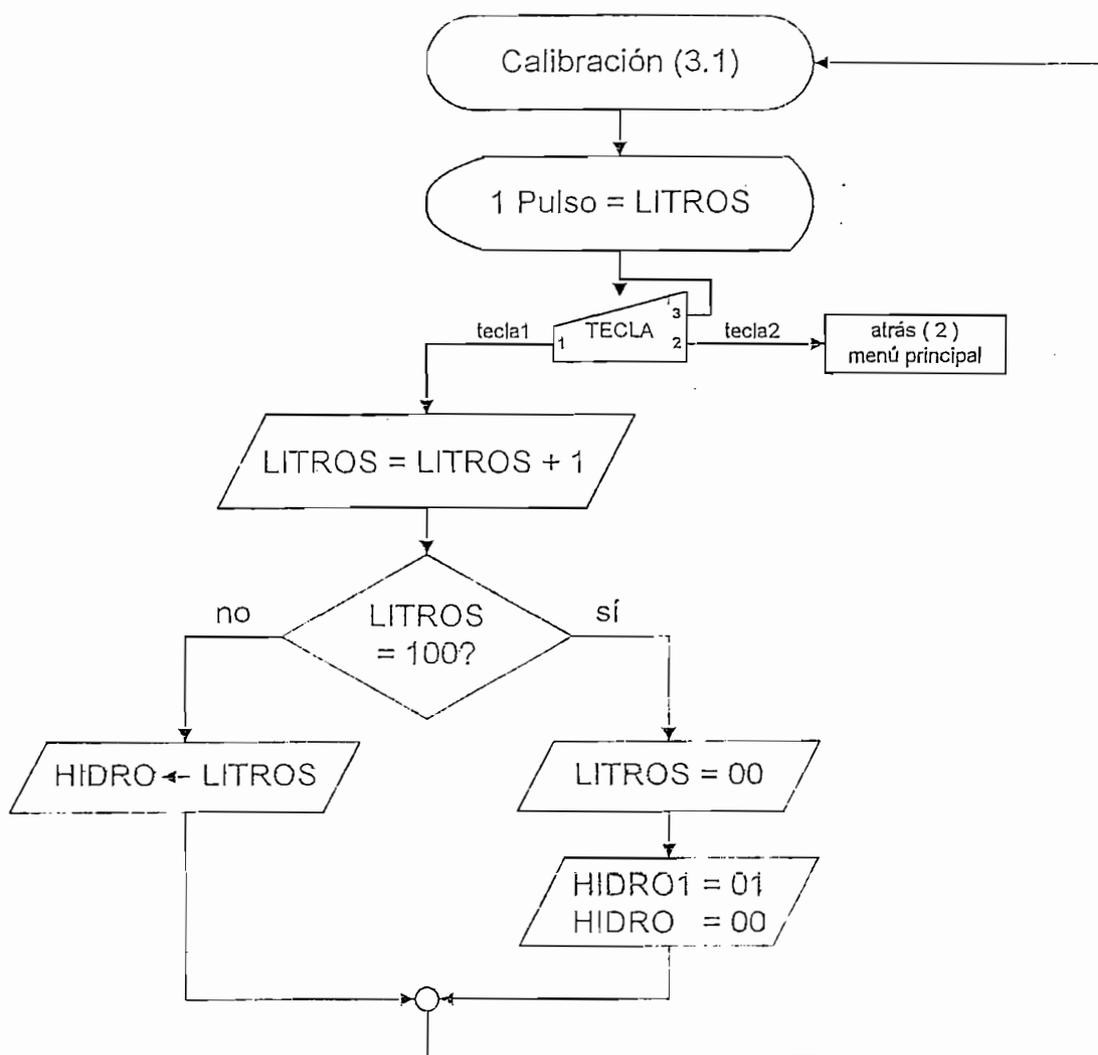


Figura No. 3.10 Ingreso de Datos para Calibración del Hidrómetro

### 3.1.5 PROGRAMACIÓN DE TIEMPOS DE RIEGO

Una vez que se ha desarrollado la programación de inicialización, configuración y calibración del Temporizador en su conjunto, se procede a diseñar el software más importante del programa que es el manejo de tiempos y/o volúmenes de riego.

La programación de tiempos de riego se divide en dos subprogramas:

- Riego Emergente
- Riego Automático

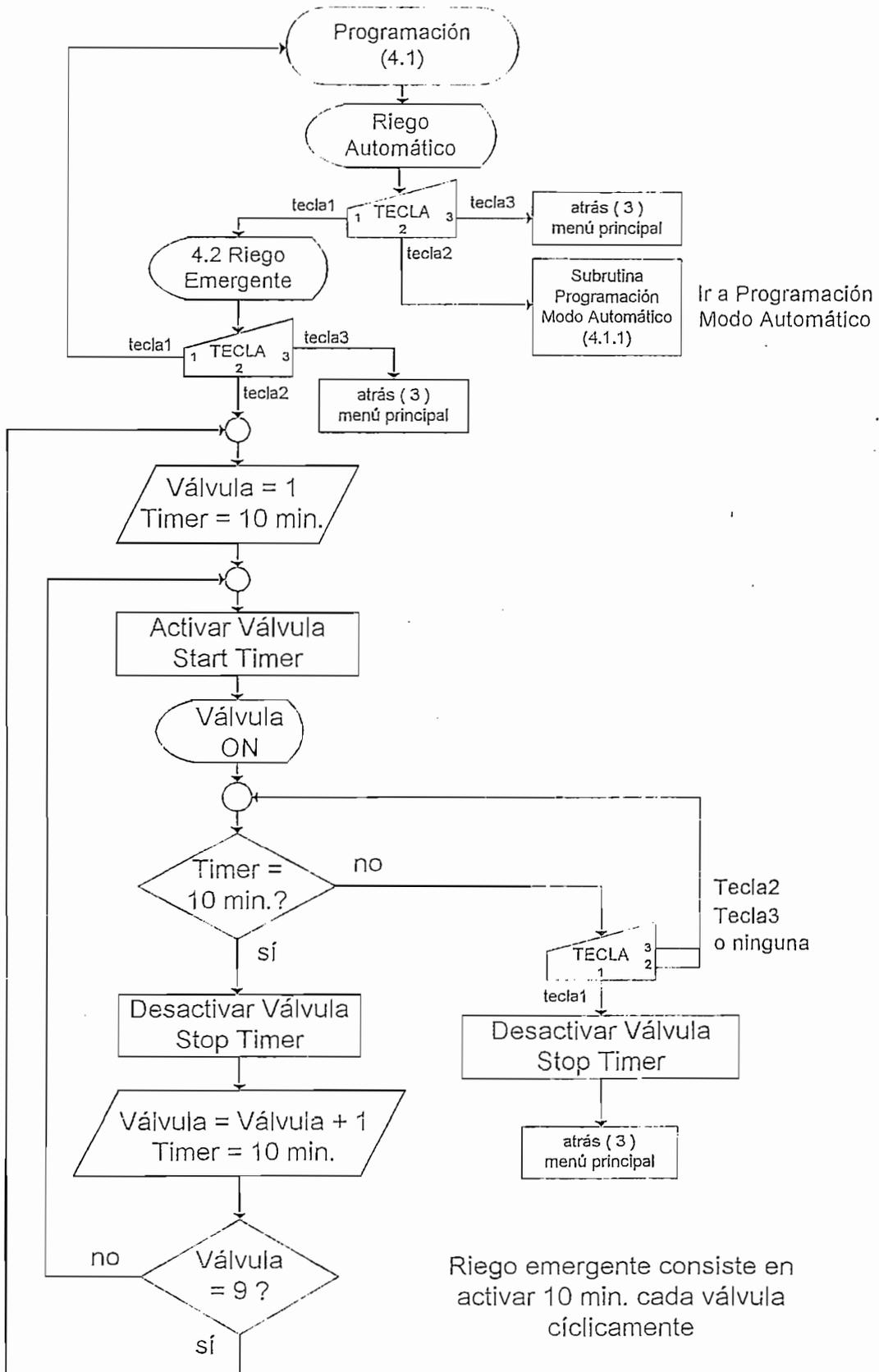
El diagrama de flujo de esta parte del programa se lo puede observar en la *Figura No. 3.11*, en el se aprecia la flexibilidad que brinda el software para elegir el modo de riego que se desee.

#### 3.1.5.1 RIEGO EMERGENTE

El riego emergente consiste en abrir en modo secuencial (una válvula a la vez) desde la válvula 1 hasta la válvula 8 un tiempo de duración o riego de 10 minutos cada una; este valor es estandarizado y todos los Temporizadores Programables dirigidos a invernaderos existentes en el mercado lo tienen implementado.

Esta operación se repite indefinidamente hasta que el usuario decida detener el riego, para esto el programa chequea constantemente la tecla correspondiente al STOP.

La salida a la válvula principal siempre permanece activa y la única restricción que se presenta es que solo se active una y sola una válvula auxiliar a la vez para evitar caídas de presión en el sistema hidráulico.



Riego emergente consiste en activar 10 min. cada válvula cíclicamente

Figura No. 3.11 Programación de Tiempos de Riego

### 3.1.5.2 RIEGO AUTOMÁTICO

Para la ejecución de riego automático el temporizador necesita almacenar en su memoria de datos los parámetros o valores de modos, tiempos y volúmenes de riego. Para ello, la programación de riego automático se la ha dividido en 4 ventanas: 3 para ingreso de datos y la última para ejecución del riego. Los valores o datos ingresados en las 3 primeras ventanas se quedarán guardados por siempre a no ser que el usuario las cambie; es decir, si no se quiere cambiar los parámetros de riego simplemente se accede a la última ventana que es la que ejecuta el riego con los últimos datos ingresados a las 3 primeras ventanas de ingreso de datos.

### 3.1.5.3 MODOS DE OPERACIÓN

Existen tres modos de operación: Semanal, Cíclico y Windows, la ejecución del riego se ajustará a estos tres modo de programación y usará tres ventanas de ingreso de datos.

#### 3.1.5.3.1 PRIMERA VENTANA PARA INGRESO DE DATOS

La subrutina llamada RIEAUT\_W1, es la que permite ingresar y visualizar los modos de riego y los días de riego dependiendo del modo de riego elegido.

- **RIEGO EN MODO SEMANAL**

Como su nombre lo indica, el riego se lo ejecuta semanalmente, además el usuario ingresa los días de la semana en que se ejecutará el riego; si el usuario elige esta opción o modo de riego, el programa pone en cero los bits del registro MODVAL para cada válvula, estos valores se almacenan en las localidades 72h y 73h, con esto se logra que las válvulas funcionen independientemente en cualquier modo de riego.

	LOCALIDAD	REGISTRO	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0	
Banco 0 (RAM)	72h	MODVALX	V4M	V4L	V3M	V3L	V2M	V2L	V1M	V1L	Válvula 1 - 4
	73h	MODVALY	V8M	V8L	V7M	V7L	V6M	V6L	V5M	V5L	Válvula 5 - 8

*Tabla No. 3.6 Almacenamiento del Modo de Riego para cada Válvula*

Por ejemplo, el equivalente en bits habilitados o deshabilitados por el programa para saber el modo de riego a ejecutar para la válvula 1 es el siguiente:

VIM (bit 1)	V1L (bit 0)	MODO DE RIEGO
0L	0L	Semanal
0L	1L	Cíclico
1L	0L	Windows

*Tabla No. 3.7 Equivalente en Bits al Modo de Riego*

Para las válvulas restantes el procedimiento es el mismo.

Respecto a los días de riego el programa almacena los días de riego elegidos por el usuario en las localidades 31h – 38h (registros WEEK) para cada válvula como lo indica la *Tabla No. 3.8* y el equivalente en bits en la *Tabla No. 3.9*.

LOCALIDAD	REGISTRO	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	Bit 1	bit 0
Banco 0 (RAM)	31h	WEEK_V1	V1D	V1S	V1V	V1J	V1m	V1M	V1L
	32h	WEEK_V2	V2D	V2S	V2V	V2J	V2m	V2M	V2L
	33h	WEEK_V3	V3D	V3S	V3V	V3J	V3m	V3M	V3L
	34h	WEEK_V4	V4D	V4S	V4V	V4J	V4m	V4M	V4L
	35h	WEEK_V5	V5D	V5S	V5V	V5J	V5m	V5M	V5L
	36h	WEEK_V6	V6D	V6S	V6V	V6J	V6m	V6M	V6L
	37h	WEEK_V7	V7D	V7S	V7V	V7J	V7m	V7M	V7L
	38h	WEEK_V8	V8D	V8S	V8V	V8J	V8m	V8M	V8L
	DÍA DE RIEGO		domingo	sábado	viernes	jueves	miércoles	martes	lunes

*Tabla No. 3.8 Almacenamiento de los Días de Riego*

Por ejemplo, el equivalente en bits habilitados o deshabilitados por el programa para saber que la válvula 5 funcionará el lunes y jueves será:

LOCALIDAD	REGISTRO	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
Banco 0 (RAM)	35h	WEEK_V5	0L	0L	0L	0L	1L	0L	0L

*Tabla No. 3.9 Válvula 5 funciona los jueves y lunes*

En el modo de riego, los días de riego y en general los parámetros de riego son independientes para cada válvula.

- **RIEGO EN MODO CÍCLICO**

El riego en este modo se lo ejecuta cíclica e indefinidamente y no hace falta ingreso de días o fechas de riego, es decir se da la orden de apertura o cierre de válvulas en forma cíclica e independiente para cada válvula, por ejemplo: regar 10 minutos cada 2 horas.

El almacenamiento de la elección de este modo de riego para cada válvula es el expuesto en las *Tablas No. 3.6 y 3.7*.

- **RIEGO EN MODO WINDOWS (modo ventana horaria)**

Regar en modo windows es regar en modo cíclico pero no indefinidamente, por lo que se programa un tiempo de parada, por ejemplo: regar los lunes y jueves desde las 8h00 hasta las 20h00, 10 minutos cada 2 horas.

Para riego en modo windows o ventana, el programa procede igual que si se eligiera el riego en modo semanal ocupando los mismos registros de memoria para almacenamiento de datos en lo que a días de riego se refiere.

El hecho de que una válvula funcione en modo semanal o en modo windows pero no los dos modos la vez da la opción de optimizar el uso de la memoria de datos, utilizando las mismas localidades para almacenar los días de riego en estos dos modos de programación de riego,

Todas las válvulas funcionan independientemente, por ejemplo la válvula 1 se la programa en modo semanal, la válvula 2 en modo cíclica y la válvula 3 en modo windows.

El diagrama de flujo de la primera ventana para ingreso de datos se presenta en la *Figura No. 3.12*.

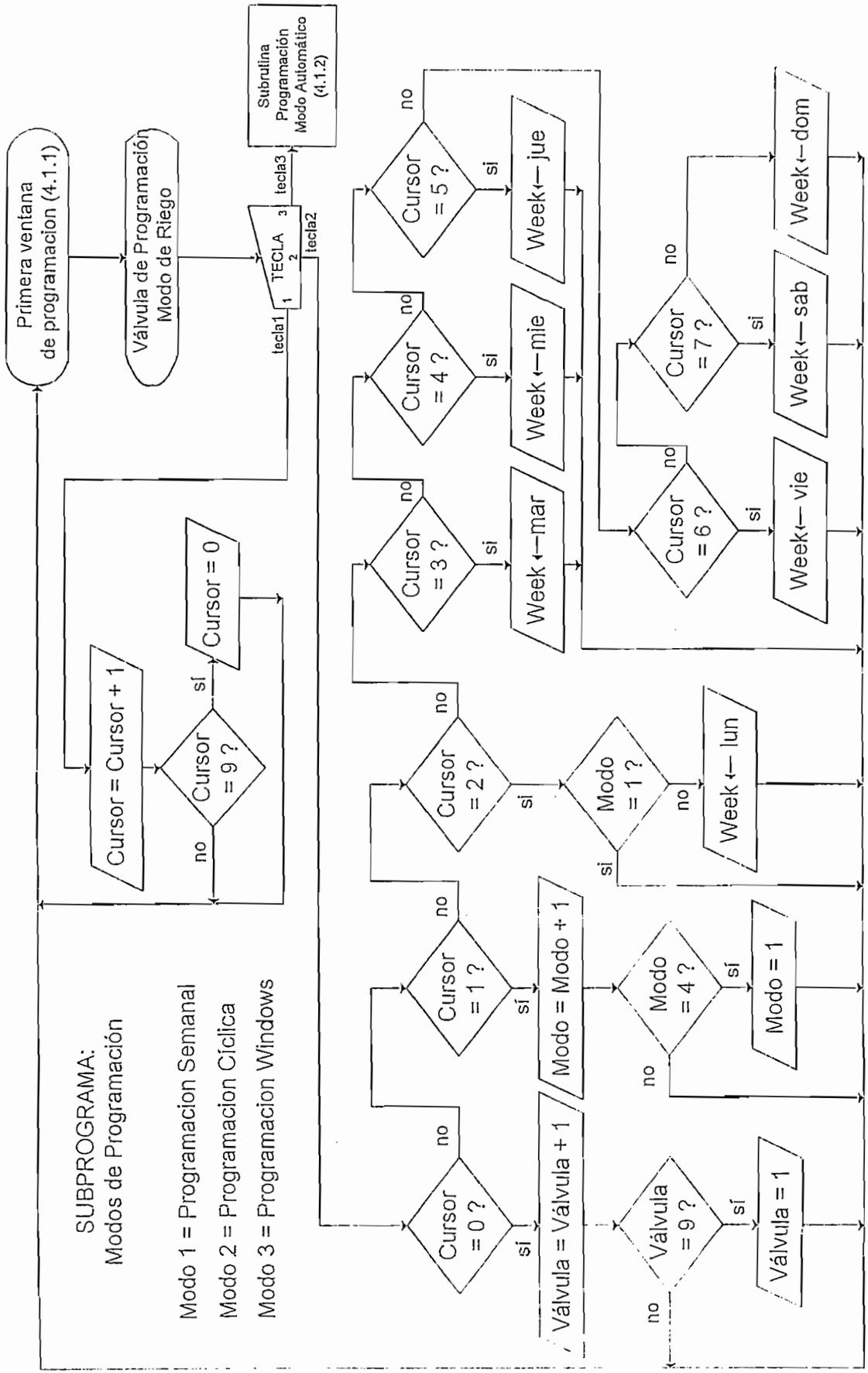


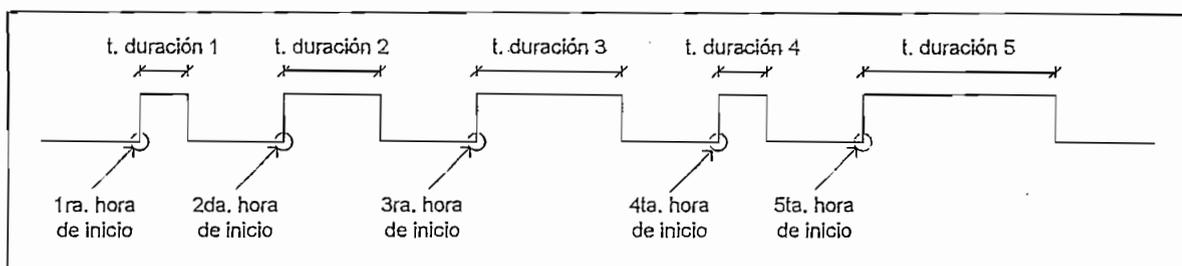
Figura No. 3.12 Primera Ventana para Ingreso de Datos

### 3.1.5.3.2 SEGUNDA VENTANA PARA INGRESO DE DATOS

La subrutina llamada RIEAUT\_W2, es la encargada de continuar con el ingreso de parámetros o datos dependiendo de los valores tomados en la primera ventana de programación.

- RIEGO EN MODO SEMANAL

Si se eligió este modo de riego y se ingresó los días de riego para cualquier válvula, la segunda ventana para ingreso de datos brinda la opción de programar 5 horas de inicio o arranque con sus respectivos tiempos o volúmenes de duración de riego como se lo indica en la *Figura No.3.13*, esta secuencia de riego se efectuará solo los días elegidos en la primera ventana de ingreso de datos.



*Figura No. 3.13 Secuencia de Riego en Modo Semanal para cada día seleccionado*

Las 5 horas de inicio son horas y minutos de reloj, cuando coinciden con las horas y minutos del reloj en tiempo real abren las válvulas y proceden a regar el tiempo de duración o el volumen de riego programado para cada válvula, así, el tiempo máximo de duración de riego es de 59 minutos con 59 segundos (una hora) y si se elige duración por volumen, un máximo de 99 litros.

Los datos ingresados en esta parte del programa se almacenan en las localidades de la memoria de datos EEPROM (válvulas 1 a la 7) y localidades A0h-C2h del Banco 1 de la memoria de datos RAM como se indica en la *Tabla No. 3.10.1, 3.10.2 y 3.10.3*.

	VALVULA 1		VALVULA 2		VALVULA 3		DATO ALMACENADO
	LOC.	REGISTRO	LOC.	REGISTRO	LOC.	REGISTRO	
HORA 1	00H	H1_ARR_V1	23H	H1_ARR_V2	46H	H1_ARR_V3	Arranque de riego
	01H	M1_ARR_V1	24H	M1_ARR_V2	47H	M1_ARR_V3	Arranque de riego
	02H	M1_RIE_V1	25H	M1_RIE_V2	48H	M1_RIE_V3	Duración de riego
	03H	S1_RIE_V1	26H	S1_RIE_V2	49H	S1_RIE_V3	Duración de riego
	04H	VC1_RIE_V1	27H	VC1_RIE_V2	4AH	VC1_RIE_V3	Dosis de riego centenas
	05H	VD1_RIE_V1	28H	VD1_RIE_V2	4BH	VD1_RIE_V3	Dosis de riego decenas/unidades
	06H	REG1_TV_V1	29H	REG1_TV_V2	4CH	REG1_TV_V3	Registro tiempo/volumen
HORA 2	07H	H2_ARR_V1	2AH	H2_ARR_V2	4DH	H2_ARR_V3	Arranque de riego
	08H	M2_ARR_V1	2BH	M2_ARR_V2	4EH	M2_ARR_V3	Arranque de riego
	09H	M2_RIE_V1	2CH	M2_RIE_V2	4FH	M2_RIE_V3	Duración de riego
	0AH	S2_RIE_V1	2DH	S2_RIE_V2	50H	S2_RIE_V3	Duración de riego
	0BH	VC2_RIE_V1	2EH	VC2_RIE_V2	51H	VC2_RIE_V3	Dosis de riego centenas
	0CH	VD2_RIE_V1	2FH	VD2_RIE_V2	52H	VD2_RIE_V3	Dosis de riego decenas/unidades
	0DH	REG2_TV_V1	30H	REG2_TV_V2	53H	REG2_TV_V3	Registro tiempo/volumen
HORA 3	0EH	H3_ARR_V1	31H	H3_ARR_V2	54H	H3_ARR_V3	Arranque de riego
	0FH	M3_ARR_V1	32H	M3_ARR_V2	55H	M3_ARR_V3	Arranque de riego
	10H	M3_RIE_V1	33H	M3_RIE_V2	56H	M3_RIE_V3	Duración de riego
	11H	S3_RIE_V1	34H	S3_RIE_V2	57H	S3_RIE_V3	Duración de riego
	12H	VC3_RIE_V1	35H	VC3_RIE_V2	58H	VC3_RIE_V3	Dosis de riego centenas
	13H	VD3_RIE_V1	36H	VD3_RIE_V2	59H	VD3_RIE_V3	Dosis de riego decenas/unidades
	14H	REG3_TV_V1	37H	REG3_TV_V2	5AH	REG3_TV_V3	Registro tiempo/volumen
HORA 4	15H	H4_ARR_V1	38H	H4_ARR_V2	5BH	H4_ARR_V3	Arranque de riego
	16H	M4_ARR_V1	39H	M4_ARR_V2	5CH	M4_ARR_V3	Arranque de riego
	17H	M4_RIE_V1	3AH	M4_RIE_V2	5DH	M4_RIE_V3	Duración de riego
	18H	S4_RIE_V1	3BH	S4_RIE_V2	5EH	S4_RIE_V3	Duración de riego
	19H	VC4_RIE_V1	3CH	VC4_RIE_V2	5FH	VC4_RIE_V3	Dosis de riego centenas
	1AH	VD4_RIE_V1	3DH	VD4_RIE_V2	60H	VD4_RIE_V3	Dosis de riego decenas/unidades
	1BH	REG4_TV_V1	3EH	REG4_TV_V2	61H	REG4_TV_V3	Registro tiempo/volumen
HORA 5	1CH	H5_ARR_V1	3FH	H5_ARR_V2	62H	H5_ARR_V3	Arranque de riego
	1DH	M5_ARR_V1	40H	M5_ARR_V2	63H	M5_ARR_V3	Arranque de riego
	1EH	M5_RIE_V1	41H	M5_RIE_V2	64H	M5_RIE_V3	Duración de riego
	1FH	S5_RIE_V1	42H	S5_RIE_V2	65H	S5_RIE_V3	Duración de riego
	20H	VC5_RIE_V1	43H	VC5_RIE_V2	66H	VC5_RIE_V3	Dosis de riego centenas
	21H	VD5_RIE_V1	44H	VD5_RIE_V2	67H	VD5_RIE_V3	Dosis de riego decenas/unidades
	22H	REG5_TV_V1	45H	REG5_TV_V2	68H	REG5_TV_V3	Registro tiempo/volumen

Tabla No. 3.10.1 Almacenamiento de datos para válvulas 1-3 en modo de riego semanal

	VALVULA 4		VALVULA 5		VALVULA 6		DATO ALMACENADO
	LOC.	REGISTRO	LOC.	REGISTRO	LOC.	REGISTRO	
HORA 1	69H	H1_ARR_V4	8CH	H1_ARR_V5	AFH	H1_ARR_V6	Arranque de riego
	6AH	M1_ARR_V4	8DH	M1_ARR_V5	B0H	M1_ARR_V6	Arranque de riego
	6BH	M1_RIE_V4	8EH	M1_RIE_V5	B1H	M1_RIE_V6	Duración de riego
	6CH	S1_RIE_V4	8FH	S1_RIE_V5	B2H	S1_RIE_V6	Duración de riego
	6DH	VC1_RIE_V4	90H	VC1_RIE_V5	B3H	VC1_RIE_V6	Dosis de riego centenas
	6EH	VD1_RIE_V4	91H	VD1_RIE_V5	B4H	VD1_RIE_V6	Dosis de riego decenas/unidades
	6FH	REG1_TV_V4	92H	REG1_TV_V5	B5H	REG1_TV_V6	Registro tiempo/volumen
HORA 2	70H	H2_ARR_V4	93H	H2_ARR_V5	B6H	H2_ARR_V6	Arranque de riego
	71H	M2_ARR_V4	94H	M2_ARR_V5	B7H	M2_ARR_V6	Arranque de riego
	72H	M2_RIE_V4	95H	M2_RIE_V5	B8H	M2_RIE_V6	Duración de riego
	73H	S2_RIE_V4	96H	S2_RIE_V5	B9H	S2_RIE_V6	Duración de riego
	74H	VC2_RIE_V4	97H	VC2_RIE_V5	BAH	VC2_RIE_V6	Dosis de riego centenas
	75H	VD2_RIE_V4	98H	VD2_RIE_V5	BBH	VD2_RIE_V6	Dosis de riego decenas/unidades
	76H	REG2_TV_V4	99H	REG2_TV_V5	BCH	REG2_TV_V6	Registro tiempo/volumen
HORA 3	77H	H3_ARR_V4	9AH	H3_ARR_V5	BDH	H3_ARR_V6	Arranque de riego
	78H	M3_ARR_V4	9BH	M3_ARR_V5	BEH	M3_ARR_V6	Arranque de riego
	79H	M3_RIE_V4	9CH	M3_RIE_V5	BFH	M3_RIE_V6	Duración de riego
	7AH	S3_RIE_V4	9DH	S3_RIE_V5	C0H	S3_RIE_V6	Duración de riego
	7BH	VC3_RIE_V4	9EH	VC3_RIE_V5	C1H	VC3_RIE_V6	Dosis de riego centenas
	7CH	VD3_RIE_V4	9FH	VD3_RIE_V5	C2H	VD3_RIE_V6	Dosis de riego decenas/unidades
	7DH	REG3_TV_V4	A0H	REG3_TV_V5	C3H	REG3_TV_V6	Registro tiempo/volumen
HORA 4	7EH	H4_ARR_V4	A1H	H4_ARR_V5	C4H	H4_ARR_V6	Arranque de riego
	7FH	M4_ARR_V4	A2H	M4_ARR_V5	C5H	M4_ARR_V6	Arranque de riego
	80H	M4_RIE_V4	A3H	M4_RIE_V5	C6H	M4_RIE_V6	Duración de riego
	81H	S4_RIE_V4	A4H	S4_RIE_V5	C7H	S4_RIE_V6	Duración de riego
	82H	VC4_RIE_V4	A5H	VC4_RIE_V5	C8H	VC4_RIE_V6	Dosis de riego centenas
	83H	VD4_RIE_V4	A6H	VD4_RIE_V5	C9H	VD4_RIE_V6	Dosis de riego decenas/unidades
	84H	REG4_TV_V4	A7H	REG4_TV_V5	CAH	REG4_TV_V6	Registro tiempo/volumen
HORA 5	85H	H5_ARR_V4	A8H	H5_ARR_V5	CBH	H5_ARR_V6	Arranque de riego
	86H	M5_ARR_V4	A9H	M5_ARR_V5	CCH	M5_ARR_V6	Arranque de riego
	87H	M5_RIE_V4	AAH	M5_RIE_V5	CDH	M5_RIE_V6	Duración de riego
	88H	S5_RIE_V4	ABH	S5_RIE_V5	CEH	S5_RIE_V6	Duración de riego
	89H	VC5_RIE_V4	ACH	VC5_RIE_V5	CFH	VC5_RIE_V6	Dosis de riego centenas
	8AH	VD5_RIE_V4	ADH	VD5_RIE_V5	D0H	VD5_RIE_V6	Dosis de riego decenas/unidades
	8BH	REG5_TV_V4	AEH	REG5_TV_V5	D1H	REG5_TV_V6	Registro tiempo/volumen

Tabla No. 3.10.2 Almacenamiento de datos para válvulas 4-6 en modo de riego semanal

		VALVULA 7		VALVULA 8		
		LOC. (EEPROM)	REGISTRO	LOC. (RAM)	REGISTRO	DATO ALMACENADO
HORA 1	D2H	H1_ARR_V7	A0H	H1_ARR_V8	Arranque de riego	
	D3H	M1_ARR_V7	A1H	M1_ARR_V8	Arranque de riego	
	D4H	M1_RIE_V7	A2H	M1_RIE_V8	Duración de riego	
	D5H	S1_RIE_V7	A3H	S1_RIE_V8	Duración de riego	
	D6H	VC1_RIE_V7	A4H	VC1_RIE_V8	Dosis de riego centenas	
	D7H	VD1_RIE_V7	A5H	VD1_RIE_V8	Dosis de riego decenas/unidades	
	D8H	REG1_TV_V7	A6H	REG1_TV_V8	Registro tiempo/volumen	
HORA 2	D9H	H2_ARR_V7	A7H	H2_ARR_V8	Arranque de riego	
	DAH	M2_ARR_V7	A8H	M2_ARR_V8	Arranque de riego	
	DBH	M2_RIE_V7	A9H	M2_RIE_V8	Duración de riego	
	DCH	S2_RIE_V7	AAH	S2_RIE_V8	Duración de riego	
	DEH	VC2_RIE_V7	ABH	VC2_RIE_V8	Dosis de riego centenas	
	DFH	VD2_RIE_V7	ACH	VD2_RIE_V8	Dosis de riego decenas/unidades	
	E0H	REG2_TV_V7	ADH	REG2_TV_V8	Registro tiempo/volumen	
HORA 3	E1H	H3_ARR_V7	AEH	H3_ARR_V8	Arranque de riego	
	E2H	M3_ARR_V7	AFH	M3_ARR_V8	Arranque de riego	
	E3H	M3_RIE_V7	B0H	M3_RIE_V8	Duración de riego	
	E4H	S3_RIE_V7	B1H	S3_RIE_V8	Duración de riego	
	E5H	VC3_RIE_V7	B2H	VC3_RIE_V8	Dosis de riego centenas	
	E6H	VD3_RIE_V7	B3H	VD3_RIE_V8	Dosis de riego decenas/unidades	
	E7H	REG3_TV_V7	B4H	REG3_TV_V8	Registro tiempo/volumen	
HORA 4	E8H	H4_ARR_V7	B5H	H4_ARR_V8	Arranque de riego	
	E9H	M4_ARR_V7	B6H	M4_ARR_V8	Arranque de riego	
	EAH	M4_RIE_V7	B7H	M4_RIE_V8	Duración de riego	
	EBH	S4_RIE_V7	B8H	S4_RIE_V8	Duración de riego	
	ECH	VC4_RIE_V7	B9H	VC4_RIE_V8	Dosis de riego centenas	
	EDH	VD4_RIE_V7	BAH	VD4_RIE_V8	Dosis de riego decenas/unidades	
	EEH	REG4_TV_V7	BBH	REG4_TV_V8	Registro tiempo/volumen	
HORA 5	EFH	H5_ARR_V7	BCH	H5_ARR_V8	Arranque de riego	
	F0H	M5_ARR_V7	BDH	M5_ARR_V8	Arranque de riego	
	F1H	M5_RIE_V7	BEH	M5_RIE_V8	Duración de riego	
	F2H	S5_RIE_V7	BFH	S5_RIE_V8	Duración de riego	
	F3H	VC5_RIE_V7	C0H	VC5_RIE_V8	Dosis de riego centenas	
	F4H	VD5_RIE_V7	C1H	VD5_RIE_V8	Dosis de riego decenas/unidades	
	F5H	REG5_TV_V7	C2H	REG5_TV_V8	Registro tiempo/volumen	

Tabla No. 3.10.3 Almacenamiento de datos para válvulas 7-8 en modo de riego semanal

Si la duración de tiempo de riego se la hace por volumen, es decir en función del hidrómetro (sensor) el dato de volumen se lo almacena en la misma localidad como si se eligiera la duración por tiempo, así se puede optimizar el uso de memoria; esto es válido ya que la duración de riego es por tiempo o por volumen pero no las dos a la vez.

El registro en donde se almacena la forma de duración de riego, ya sea por tiempo o por volumen para cada válvula y para cada modo de riego se lo denomina REGTV (registro por tiempo o por volumen), estos registros se almacenan en el Banco 0 de la memoria de datos en las localidades 74h a la 7Bh como lo indica la *Tabla No 3.11*, y su equivalente de bits mostrado en la *Tabla No. 3.12*.

LOCALIDAD	REGISTRO TIEMPO / VOLUMEN	
74H	REGTV_V1	Válvula 1
75H	REGTV_V2	Válvula 2
76H	REGTV_V3	Válvula 3
77H	REGTV_V4	Válvula 4
78H	REGTV_V5	Válvula 5
79H	REGTV_V6	Válvula 6
7AH	REGTV_V7	Válvula 7
7BH	REGTV_V8	Válvula 8

*Tabla No. 3.11 Almacenamiento de la forma de duración de riego (por tiempo o volumen)*

LOCALIDAD	REGISTRO TIEMPO / VOLUMEN	BITS ( VALVULA 1 )							
		V1_b7	V1_b6	V1_b5	V1_b4	V1_b3	V1_b2	V1_b1	V1_b0
74h	REGTV_V1	*	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
MODO DE RIEGO		*	WINDOWS	CICLICO	SEMANTAL (5 ciclos de riego)				

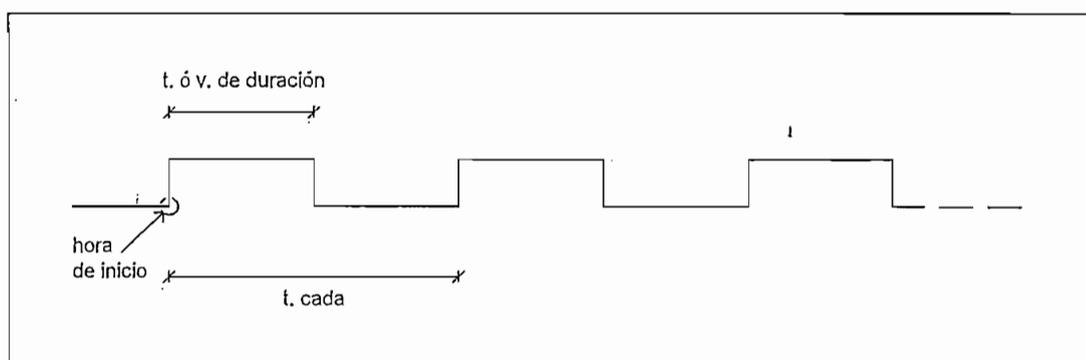
1L = duración de riego por volumen, OL duración de riego por tiempo

*Tabla No. 3.12 Equivalente en bits de Almacenamiento de la forma de duración de riego para la válvula 1*

Por ejemplo: si la válvula 1 se la programa en modo de riego semanal y la duración de riego de la cuarta hora de riego es por volumen hay que poner en 1L el bit V1\_b3, y así para todas las válvulas y modos de riego.

- **RIEGO EN MODO CÍCLICO**

Este modo de riego solo responde a una hora de inicio de riego, una duración de riego (por tiempo o por volumen), y cada cuanto tiempo repetir esta tarea, para así completar el ciclo y repetirlo indeterminadamente. La explicación gráfica a lo antes mencionado podemos verla a continuación:



*Figura No. 3.14 Riego en Modo Cíclico*

Al igual que el riego en modo semanal, la hora de inicio corresponden a datos de reloj que se comparan con hora y minutos del RTC para dar inicio al riego.

- **RIEGO EN MODO WINDOWS**

Regar en modo windows o ventana es lo mismo que regar en modo cíclico con la diferencia que ahora se implementa una hora de parada o stop y además el día que será ejecutado, esto no ocurre con el modo de riego cíclico, para esto el programa permite ingresar dos nuevos datos llamados hora hasta (donde se detendrá el riego) y día de riego, debido a que se asemejan estos dos modos de riego se utilizan los mismos registros para almacenar tiempos de inicio, duración y parada (para riego en modo windows).

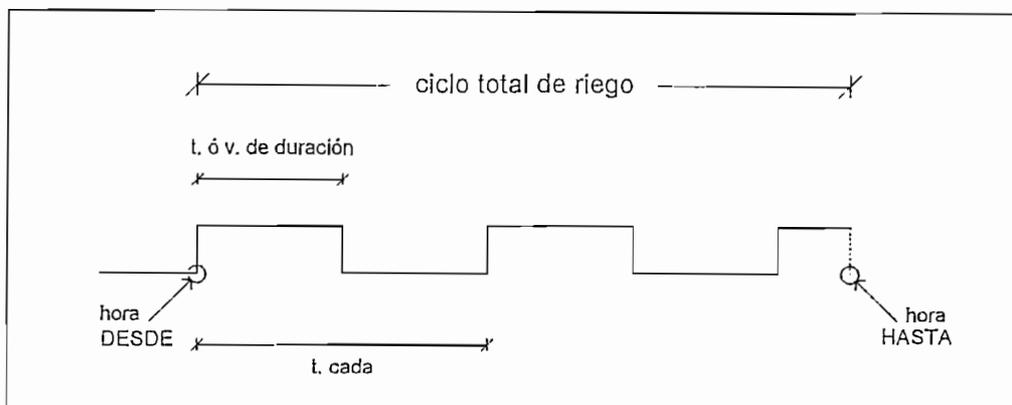


Figura No. 3.15 Riego en modo Windows

Los datos de tiempo o volumen para todas las válvulas ingresados para ejecutar tanto el riego en modo cíclico como en modo windows se almacenan en las localidades que anteceden a los registros utilizados en modo de riego semanal tal como indica las *Tabla No. 3.13.1, 3.13.2, 3.13.3 y 3.13.4.*

		VÁLVULA 1		VALVULA 2		
		LOC.	REGISTRO	LOC.	REGISTRO	DATO ALMACENADO
CICLICO	C3H	H_ARRCIC_V1	D3H	H_ARRCIC_V2	Hora arranque de riego	
	C4H	M_ARRCIC_V1	D4H	M_ARRCIC_V2	Minutos arranque de riego	
	C5H	M_RIECIC_V1	D5H	M_RIECIC_V2	Minutos de riego	
	C6H	S_SIECIC_V1	D6H	S_SIECIC_V2	Segundos de riego	
	C7H	VC_RIECIC_V1	D7H	VC_RIECIC_V2	Dosis de riego centenas	
	C8H	VD_RIECIC_V1	D8H	VD_RIECIC_V2	Dosis de riego decenas/unidades	
	C9H	REG_CICTV_V1	D9H	REG_CICTV_V2	Registro tiempo/volumen	
WINDOWS	CAH	H_DESWIN_V1	DAH	H_DESWIN_V2	Hora arranque de riego (desde)	
	CBH	M_DESWIN_V1	DBH	M_DESWIN_V2	Minutos arranque de riego (desde)	
	CCH	M_RIEWIN_V1	DCH	M_RIEWIN_V2	Minutos de riego	
	CDH	S_SIEWIN_V1	DDH	S_SIEWIN_V2	Segundos de riego	
	CEH	VC_RIEWIN_V1	DEH	VC_RIEWIN_V2	Dosis de riego centenas	
	CFH	VD_RIEWIN_V1	DFH	VD_RIEWIN_V2	Dosis de riego decenas/unidades	
	D0H	REG_WINTV_V1	E0H	REG_WINTV_V2	Registro tiempo/volumen	
	D1H	H_HASWIN_V1	E1H	H_HASWIN_V2	Hora de parada de riego (hasta)	
D2H	M_HASWIN_V1	E2H	M_HASWIN_V2	Minutos parada de riego (hasta)		

Tabla No. 3.13.1 Almacenamiento de datos para modo de riego cíclico y windows  
(válvulas 1-2)

		VALVULA 3		VALVULA 4		
		LOC.	REGISTRO	LOC.	REGISTRO	DATO ALMACENADO
CICLICO	110H	H_ARRCIC_V3	120H	H_ARRCIC_V4		Hora arranque de riego
	111H	M_ARRCIC_V3	121H	M_ARRCIC_V4		Minutos arranque de riego
	112H	M_RIECIC_V3	122H	M_RIECIC_V4		Minutos de riego
	113H	S_SIECIC_V3	123H	S_SIECIC_V4		Segundos de riego
	114H	VC_RIECIC_V3	124H	VC_RIECIC_V4		Dosis de riego centenas
	115H	VD_RIECIC_V3	125H	VD_RIECIC_V4		Dosis de riego decenas/unidades
	116H	REG_CICTV_V3	126H	REG_CICTV_V4		Registro tiempo/volumen
WINDOWS	117H	H_DESWIN_V3	127H	H_DESWIN_V4		Hora arranque de riego (desde)
	118H	M_DESWIN_V3	128H	M_DESWIN_V4		Minutos arranque de riego (desde)
	119H	M_RIEWIN_V3	129H	M_RIEWIN_V4		Minutos de riego
	11AH	S_SIEWIN_V3	12AH	S_SIEWIN_V4		Segundos de riego
	11BH	VC_RIEWIN_V3	12BH	VC_RIEWIN_V4		Dosis de riego centenas
	11CH	VD_RIEWIN_V3	12CH	VD_RIEWIN_V4		Dosis de riego decenas/unidades
	11DH	REG_WINTV_V3	12DH	REG_WINTV_V4		Registro tiempo/volumen
	11EH	H_HASWIN_V3	12EH	H_HASWIN_V4		Hora de parada de riego (hasta)
	11FH	M_HASWIN_V3	12FH	M_HASWIN_V4		Minutos parada de riego (hasta)

Tabla No. 3.13.2 Almacenamiento de datos para modo de riego cíclico y windows  
(válvulas 3-4)

		VALVULA 5		VALVULA 6		
		LOC.	REGISTRO	LOC.	REGISTRO	DATO ALMACENADO
CICLICO	130H	H_ARRCIC_V5	140H	H_ARRCIC_V6		Hora arranque de riego
	131H	M_ARRCIC_V5	141H	M_ARRCIC_V6		Minutos arranque de riego
	132H	M_RIECIC_V5	142H	M_RIECIC_V6		Minutos de riego
	133H	S_SIECIC_V5	143H	S_SIECIC_V6		Segundos de riego
	134H	VC_RIECIC_V5	144H	VC_RIECIC_V6		Dosis de riego centenas
	135H	VD_RIECIC_V5	145H	VD_RIECIC_V6		Dosis de riego decenas/unidades
	136H	REG_CICTV_V5	146H	REG_CICTV_V6		Registro tiempo/volumen
Windows	137H	H_DESWIN_V5	147H	H_DESWIN_V6		Hora arranque de riego (desde)
	138H	M_DESWIN_V5	148H	M_DESWIN_V6		Minutos arranque de riego (desde)
	139H	M_RIEWIN_V5	149H	M_RIEWIN_V6		Minutos de riego
	13AH	S_SIEWIN_V5	14AH	S_SIEWIN_V6		Segundos de riego
	13BH	VC_RIEWIN_V5	14BH	VC_RIEWIN_V6		Dosis de riego centenas
	13CH	VD_RIEWIN_V5	14CH	VD_RIEWIN_V6		Dosis de riego decenas/unidades
	13DH	REG_WINTV_V5	14DH	REG_WINTV_V6		Registro tiempo/volumen
	13EH	H_HASWIN_V5	14EH	H_HASWIN_V6		Hora de parada de riego (hasta)
	13FH	M_HASWIN_V5	14FH	M_HASWIN_V6		Minutos parada de riego (hasta)

Tabla No. 3.13.3 Almacenamiento de datos para modo de riego cíclico y windows  
(válvulas 5-6)

		VALVULA 7		VALVULA 8		
		LOC.	REGISTRO	LOC.	REGISTRO	DATO ALMACENADO
CICLICO	150H	H_ARRCIC_V7	160H	H_ARRCIC_V8	Hora arranque de riego	
	151H	M_ARRCIC_V7	161H	M_ARRCIC_V8	Minutos arranque de riego	
	152H	M_RIECIC_V7	162H	M_RIECIC_V8	Minutos de riego	
	153H	S_SIECIC_V7	163H	S_SIECIC_V8	Segundos de riego	
	154H	VC_RIECIC_V7	164H	VC_RIECIC_V8	Dosis de riego centenas	
	155H	VD_RIECIC_V7	165H	VD_RIECIC_V8	Dosis de riego decenas/unidades	
WINDOWS	156H	REG_CICTV_V7	166H	REG_CICTV_V8	Registro tiempo/volumen	
	157H	H_DESWIN_V7	167H	H_DESWIN_V8	Hora arranque de riego (desde)	
	158H	M_DESWIN_V7	168H	M_DESWIN_V8	Minutos arranque de riego (desde)	
	159H	M_RIEWIN_V7	169H	M_RIEWIN_V8	Minutos de riego	
	15AH	S_SIEWIN_V7	16AH	S_SIEWIN_V8	Segundos de riego	
	15BH	VC_RIEWIN_V7	16BH	VC_RIEWIN_V8	Dosis de riego centenas	
	15CH	VD_RIEWIN_V7	16CH	VD_RIEWIN_V8	Dosis de riego decenas/unidades	
	15DH	REG_WINTV_V7	16DH	REG_WINTV_V8	Registro tiempo/volumen	
	15EH	H_HASWIN_V7	16EH	H_HASWIN_V8	Hora de parada de riego (hasta)	
	15FH	M_HASWIN_V7	16FH	M_HASWIN_V8	Minutos parada de riego (hasta)	

*Tabla No. 3.13.4 Almacenamiento de datos para modo de riego cíclico y windows  
(válvulas 7-8)*

La segunda ventana para ingreso de datos esta representada en el diagrama de flujo de la *Figura No. 3.16*.

### 3.1.5.3.3 TERCERA VENTANA PARA INGRESO DE DATOS

La última ventana para ingreso de datos toma los últimos datos para luego proceder a efectuar el riego automáticamente.

La subrutina llamada RIEAUT\_w3, es la encargada de continuar con el ingreso de parámetros o datos dependiendo de los valores tomados en la primera y segunda ventana de programación. Si se ingresó el modo, la hora de arranque, el tiempo o volumen de riego, hace falta saber cada cuanto tiempo o cada que PERÍODO se repetirán las tareas antes programadas.

Si se decidió ejecutar el riego en modo semanal el programa imprimirá en el LCD la frase "CADA SEMANA" pues el riego se lo hará semanalmente.

Caso contrario, si se decidió ejecutar el riego en modo cíclico o windows, el programa permite ingresar los valores respecto a los tiempos de repetición o PERÍODO de riego llamados registros "TIEMPOS CADA" como se muestra en las *Figuras No.3.17* completando así el ciclo de riego y por ende el ingreso de datos.

Los valores de registros "TIEMPOS CADA" para cada válvula se almacenan en las localidades 57h – 66h del Banco 0 de la memoria de datos como lo indica la *Tabla No. 3.14.1, 3.14.2 y 3.14.3*.

	VALVULA 1		VALVULA 2		VALVULA 3		DATO ALMACENADO
	LOC.	REGISTRO	LOC.	REGISTRO	LOC.	REGISTRO	
CICLICO	190H	CADHOR_CICV1	19AH	CADHOR_CICV2	1A4H	CADHOR_CICV3	Riego cada hora
	191H	CADMIN_CICV1	19BH	CADMIN_CICV2	1A5H	CADMIN_CICV3	Riego cada minuto
	192H	CADDIA_CICV1	19CH	CADDIA_CICV2	1A6H	CADDIA_CICV3	Riego cada día
	193H	CADMES_CICV1	19DH	CADMES_CICV2	1A7H	CADMES_CICV3	Riego cada mes
	194H	REG_CADCICV1	19EH	REG_CADCICV2	1A8H	REG_CADCICV3	Registro cada
WINDOWS	195H	CADHOR_WINV1	19FH	CADHOR_WINV2	1A9H	CADHOR_WINV3	Riego cada hora
	196H	CADMIN_WINV1	1A0H	CADMIN_WINV2	1AAH	CADMIN_WINV3	Riego cada minuto
	197H	CADDIA_WINV1	1A1H	CADDIA_WINV2	1ABH	CADDIA_WINV3	Riego cada día
	198H	CADMES_WINV1	1A2H	CADMES_WINV2	1ACH	CADMES_WINV3	Riego cada mes
	199H	REG_CADWINV1	1A3H	REG_CADWINV2	1ADH	REG_CADWINV3	Registro cada

*Tabla No. 3.14.1 Almacenamiento de datos del "PERIODO" de riego (válvulas 1-3)*

	VALVULA 4		VALVULA 5		VALVULA 6		DATO ALMACENADO
	LOC.	REGISTRO	LOC.	REGISTRO	LOC.	REGISTRO	
CICLICO	1AEH	CADHOR_CICV4	1B8H	CADHOR_CICV5	1C2H	CADHOR_CICV6	Riego cada hora
	1AFH	CADMIN_CICV4	1B9H	CADMIN_CICV5	1C3H	CADMIN_CICV6	Riego cada minuto
	1B0H	CADDIA_CICV4	1BAH	CADDIA_CICV5	1C4H	CADDIA_CICV6	Riego cada día
	1B1H	CADMES_CICV4	1BBH	CADMES_CICV5	1C5H	CADMES_CICV6	Riego cada mes
	1B2H	REG_CADCICV4	1BCH	REG_CADCICV5	1C6H	REG_CADCICV6	Registro cada
WINDOWS	1B3H	CADHOR_WINV4	1BDH	CADHOR_WINV5	1C7H	CADHOR_WINV6	Riego cada hora
	1B4H	CADMIN_WINV4	1BEH	CADMIN_WINV5	1C8H	CADMIN_WINV6	Riego cada minuto
	1B5H	CADDIA_WINV4	1BFH	CADDIA_WINV5	1C9H	CADDIA_WINV6	Riego cada día
	1B6H	CADMES_WINV4	1C0H	CADMES_WINV5	1CAH	CADMES_WINV6	Riego cada mes
	1B7H	REG_CADWINV4	1C1H	REG_CADWINV5	1CBH	REG_CADWINV6	Registro cada

*Tabla No. 3.14.2 Almacenamiento de datos del "PERIODO" de riego (válvulas 4-6)*

		VALVULA 7		VALVULA 8		
		LOC.	REGISTRO	LOC.	REGISTRO	DATO ALMACENADO
CICLICO	1CDH	CADHOR_CICV7	1D5H	CADHOR_CICV8	Riego cada hora	
	1CEH	CADMIN_CICV7	1D6H	CADMIN_CICV8	Riego cada minuto	
	1CFH	CADDIA_CICV7	1D7H	CADDIA_CICV8	Riego cada día	
	1D0H	CADMES_CICV7	1D8H	CADMES_CICV8	Riego cada mes	
	1D1H	REG_CADCICV7	1D9H	REG_CADCICV8	Registro cada	
WINDOWS	1D1H	CADHOR_WINV7	1DAH	CADHOR_WINV8	Riego cada hora	
	1D2H	CADMIN_WINV7	1DBH	CADMIN_WINV8	Riego cada minuto	
	1D3H	CADDIA_WINV7	1DCH	CADDIA_WINV8	Riego cada día	
	1D4H	CADMES_WINV7	1DDH	CADMES_WINV8	Riego cada mes	
	1D5H	REG_CADWINV7	1DEH	REG_CADWINV8	Registro cada	

Tabla No. 3.14.3 Almacenamiento de datos del "PERIODO" de riego (válvulas 7-8)



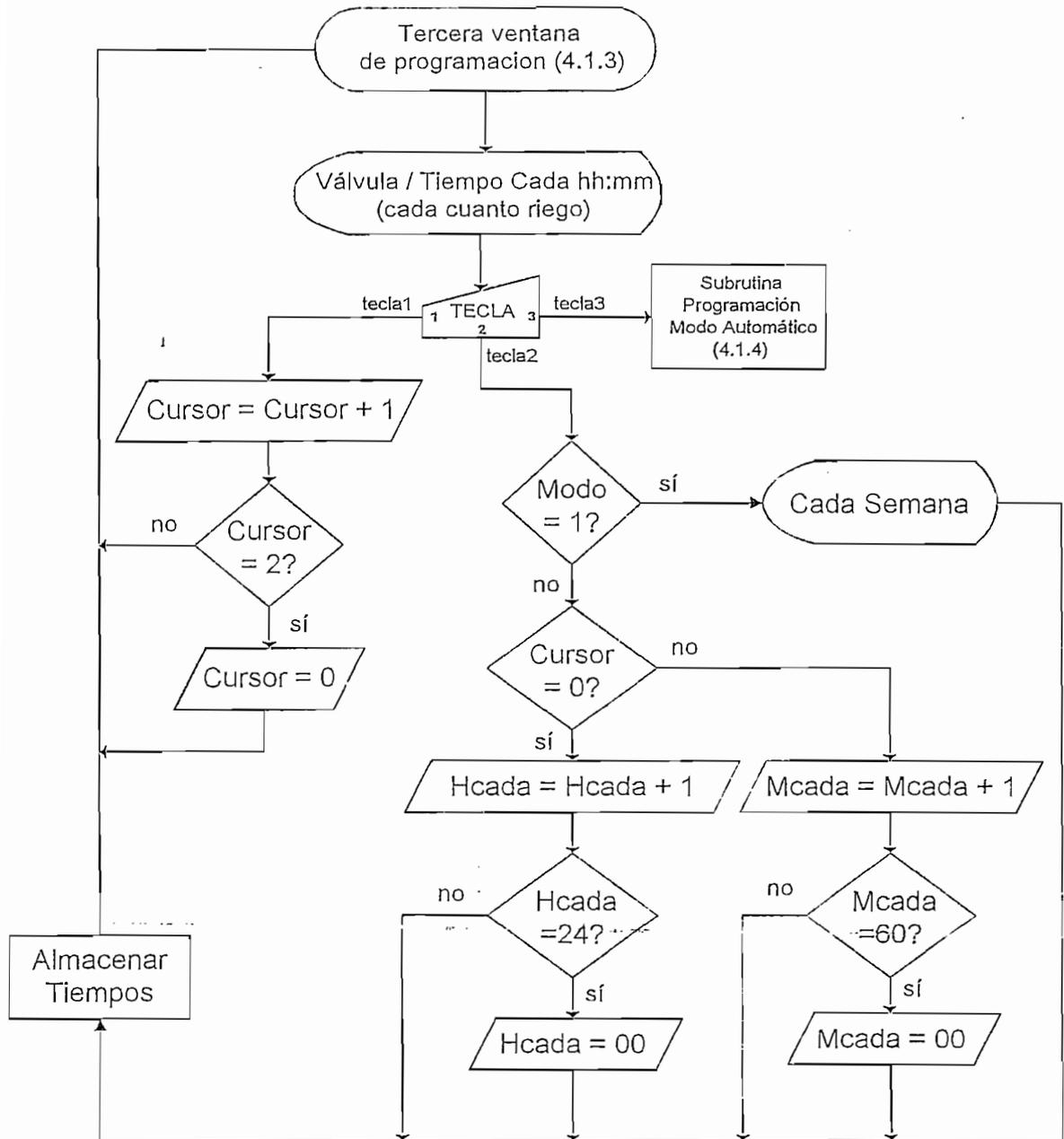


Figura No. 3.17 Tercera Ventana para Ingreso de Datos

Antes de pasar a la cuarta ventana de programación de riego automático se incluye una subrutina de cuestionamiento al usuario:

“ Esta seguro de iniciar el riego? “

Para esto, el programa da la opción a regresar a la primera, segunda y tercera ventana con el fin de cambiar valores; si quiere continuar se pasa a la siguiente ventana de programación.

#### 3.1.5.3.4 CUARTA VENTANA: EJECUCIÓN DE RIEGO AUTOMÁTICO

Sea que se haya ingresado o no datos en las ventanas de programación para ingreso de datos, el programa en esta parte leerá todos los registros relacionados a riego automático para cada válvula.

El programa encargado de la ejecución de riego automático hace un barrido constante cumpliendo con las siguientes etapas para cada válvula:

- **ETAPA DE CHEQUEO**

- Chequear y almacenar el modo de riego pudiendo ser este semanal, cíclico o windows; si no se ingresó ningún modo, el Temporizador asumirá riego en modo semanal.
- En modo semanal y windows, chequear si el día actual es el mismo que el día de riego programado.
- Chequear si la hora de arranque es la misma que la hora actual.
- Chequear y almacenar si la duración de riego se va a realizar por tiempo o por volumen.

Si se cumple con estas condiciones se pasa a la siguiente etapa, caso contrario se sigue con la siguiente válvula.

- **ETAPA DE CARGA**

- Si la duración de riego es por tiempo, cargar al timer la duración de riego; si la duración de riego es por volumen, cargar el volumen a ser comparado con el sensado por el hidrómetro.

- **ETAPA DE ACTIVACIÓN**

- Chequear si los valores cargados son cero (cero tiempo o cero metros cúbicos de riego); si son cero pasar a la siguiente válvula; caso contrario, activar válvula correspondiente, inicializar timer ó contar pulsos recibidos por el hidrómetro.

- **ETAPA DE FIN DE RIEGO**

- Chequear desbordamiento de timer (transcurrió tiempo de riego) o desbordamiento de hidrómetro (volumen de riego programado); realizar el cálculo de parámetros para siguiente riego.

El programa realiza estas etapas constantemente, además visualiza la válvula que está encendida, la hora actual, el menú de teclado donde aparece la opción STOP para detener temporal o definitivamente el riego en cualquier instante.

La presentación de la última ventana de programación, la que da la orden de riego a cada válvula se la presenta en la *Figura No. 3.18 y 3.19*.

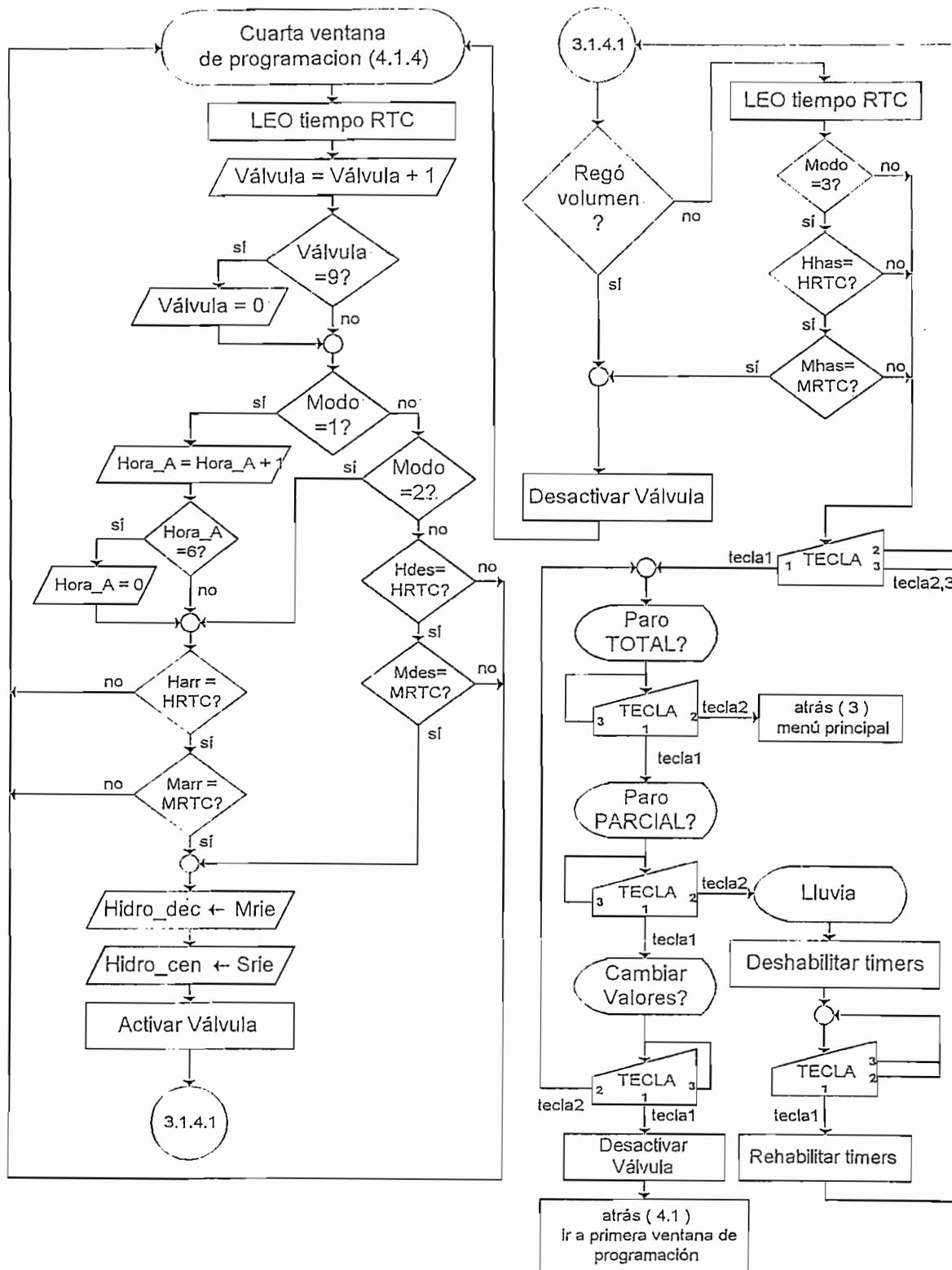


Figura No. 3.18 Cuarta Ventana: Ejecución de Riego (duración por tiempo)

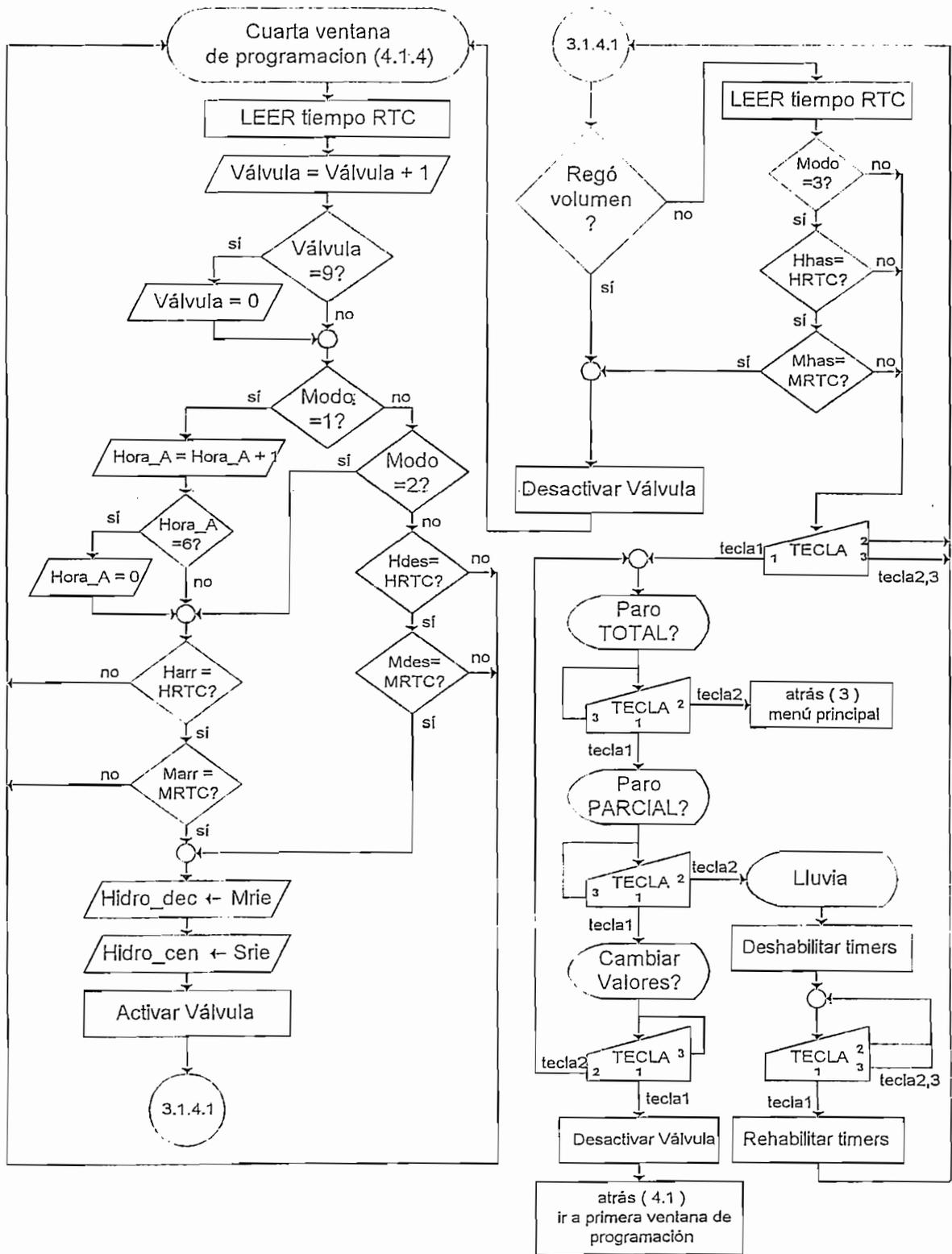


Figura No. 3.19 Cuarta Ventana: Ejecución de Riego (duración por volumen)

### 3.1.6 TIEMPO DE SEGURIDAD (OFF DELAY) PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA PRINCIPAL

La bomba principal es quién suministra presión al agua o fertilizante que fluye por las vías controladas por las válvulas auxiliares, por dicha razón no se puede estar encendiendo y/o apagando a cada instante como se lo hace con las válvulas auxiliares ya que ésta es de mayor potencia y los arranques de encendido o activación producen corrientes instantáneas altas que a la postre pueden dañar a la bomba.

El software relacionado con la condición de trabajo en la bomba principal se maneja con una subrutina llamada CHEQ\_PRINCIPAL la que chequea constantemente el estado de las válvulas auxiliares para poder decidir si se activa o desactiva la válvula principal, ello se establece de la siguiente manera:

- Si una válvula auxiliar se activa, también lo hará la válvula principal.
- Solo se apagará la válvula principal si ninguna de las válvulas auxiliares está encendida; además, se esperará que transcurra un minuto después de que la última válvula fue apagada, para que el microcontrolador dé la orden de apagado de la válvula principal (tiempo off\_delay).

En el diagrama de la *Figura No. 3.20* y el flujograma de la *Figura No. 3.21* se puede ver un ciclo de riego y el tiempo de espera para la desactivación (off\_delay) dado a la válvula principal:

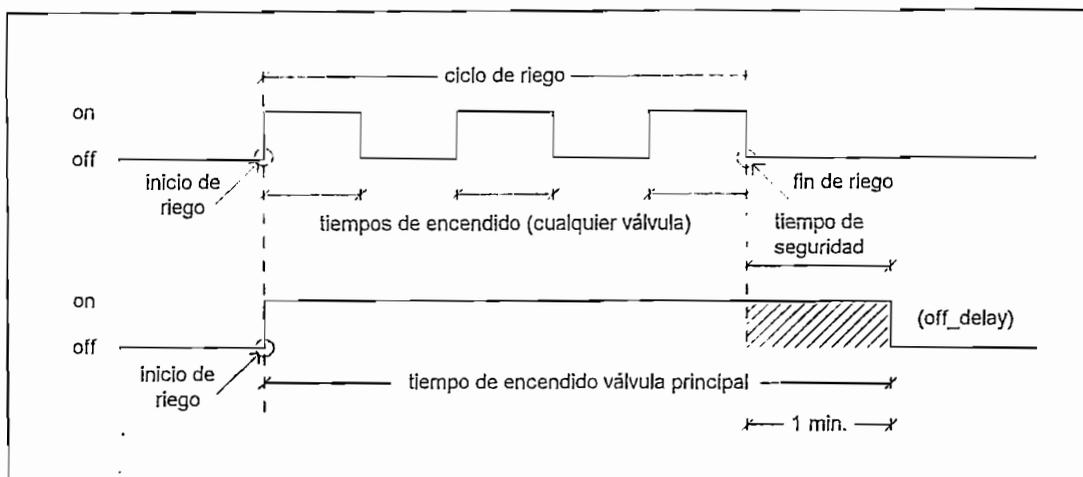


Figura No. 3.20 Tiempo de Seguridad para Bomba Principal

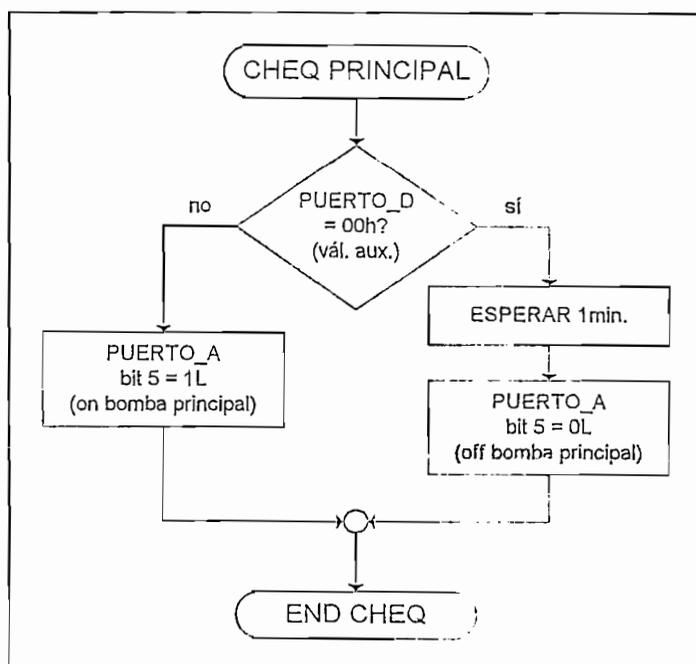


Figura No. 3.21 Software: Chequeo de Funcionamiento - Bomba Principal

## CAPITULO 3

# DISEÑO DEL SOFTWARE

## CAPITULO 3

### DISEÑO DEL SOFTWARE

El temporizador programable para invernaderos requiere de dos programas para su funcionamiento, éstos son:

- Software para el manejo del microcontrolador PIC16F877.
- Software de usuario para temporización de riego.

#### 3.1 DISEÑO DEL SOFTWARE PARA EL MICROCONTROLADOR PIC16F877

El hardware se ha diseñado utilizando el microcontrolador PIC16F877, entre otras características por las herramientas y facilidades que brinda el fabricante para manejo de software del elemento. Para la realización de este programa, se ha utilizado el editor de ensamblador del programa computacional denominado MPLAB™.

##### 3.1.1 DESCRIPCION DEL SOFTWARE PARA EDICIÓN, SIMULACION, DEPURACIÓN Y ASSEMBLER MPLAB™

MPLAB™ IDE 5.50 es un software desarrollado por Microchip™ para editar, simular, compilar, depurar, optimizar y en general desarrollar aplicaciones dirigidas a microcontroladores de la familia PICmicro™.

Las ventajas más relevantes de trabajar con este programa se mencionan a continuación:

- Es gratuito y su última versión (IDE 5.50) se la puede obtener en Internet.
- Corre bajo Microsoft Windows 3.1x, Windows 95, 98, NT, 2000 y XP.
- Es de fácil aprendizaje y manejo, la organización de sus herramientas a través de ayudas hace que sus menús sean fáciles de encontrar y usar.
- Da respuestas rápidas a preguntas utilizando la ayuda en línea del MPLAB™ o si es necesario, se puede obtener el manual de usuario o pedir ayuda vía Internet.
- Depura programas fuente, detecta errores automáticamente y los edita.
- Permite configurar la velocidad del oscilador utilizado, con el fin de hacer simulaciones u observar el flujo del programa en tiempo real, para ello posee un emulador o simulador propio del programa denominado MPLAB-SIM™.
- Posee un manejador de proyectos que trabaja exclusivamente con los archivos específicos relacionados al proyecto. Al trabajar en un proyecto, el código fuente se transmite al simulador o emulador con tan solo dar un clic en el mouse.
- Es compatible con el emulador PICMASTER™, con programadores tales como PROMATE-II™ o PICSTART-Plus™ que son herramientas de desarrollo proporcionadas por Microchip™, fáciles de adquirir por su bajo costo y disponibilidad en el mercado.
- El software ensamblador viene en dos presentaciones: una, para entorno DOS llamado MPASM.EXE y la otra, para entorno Windows llamado MPASMWIN.EXE; las dos presentaciones soportan a TODOS los microcontroladores de la familia PICmicro™ de Microchip™.

### 3.1.2 PROGRAMA PARA EL MICROCONTROLADOR PIC16F877

El microcontrolador PIC16F877 desarrollará siete tareas independientes:

- Manejo de periféricos.
- Configuración del display de cristal líquido (LCD).
- Configuración del reloj en tiempo real (RTC).
- Ajuste de tiempo.
- Test (válvulas y sensor).
- Calibración del equipo para manejo del sensor (Hidrómetro).
- Programación de tiempo o volumen de riego.

### 3.1.3 CONFIGURACIÓN DE LAS MEMORIAS DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877

La configuración de memoria del microcontrolador PIC16F877 es la siguiente:

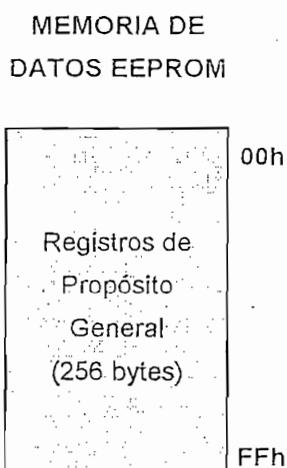
- Memoria de datos tipo EEPROM (256 bytes)
- Memoria de datos tipo RAM (368 bytes)
- Memoria de programa tipo EEPROM FLASH (8 Kbytes)

La utilización de cada una de las localidades de memoria disponible para almacenamiento de datos y ejecución del software se la detalla a continuación:

### 3.1.3.1 DISTRIBUCION DE LA MEMORIA DE DATOS TIPO EEPROM DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877

El microcontrolador PIC16F877 cuenta con 256 bytes de memoria tipo EEPROM llamada también memoria no volátil, la característica principal de este tipo de memoria es que se lee o escribe eléctricamente; además, si se perdiera la energía de alimentación del dispositivo, éste guardará los datos almacenados hasta ese instante en su memoria EEPROM.

Se ha creído necesario utilizar estas localidades de memoria para almacenar información de datos de riego en modo semanal ya que este modo es utilizado para dotar fertilizantes a la planta en ciertas dosis o tiempos, ciertos días de la semana. Por tal razón esta información es de importancia y a pesar de contar con una batería de respaldo no está por demás almacenar dicha información en las localidades de memoria EEPROM cuya disposición se indica a continuación:



*Figura No. 3.1.1 Mapa de Memoria de Datos tipo EEPROM  
para el Microcontrolador PIC16F877*

Los 256 bytes disponibles se los ha organizado de tal manera que el temporizador pueda almacenar datos en su memoria EEPROM para su funcionamiento, así:

- 8 válvulas programadas en modo semanal ejecutarán riego por tiempo o por volumen en 5 horas diferentes cada día especificado de la semana, el almacenamiento de datos para cada válvula y cada hora se lo presenta a continuación:

LOCALIDAD EEPROM	ETIQUETA	FUNCION
---------------------	----------	---------

*VALVULA 1 (PROGRAMACION MODO SEMANAL)*

*HORA\_1*

00H	H1_ARR_V1	Hora 1 arranque de riego
01H	M1_ARR_V1	Minutos 1 arranque de riego
02H	M1_RIE_V1	Minutos 1 duración de riego
03H	S1_RIE_V1	Segundos 1 duración de riego
04H	VC1_RIE_V1	Volumen 1 dosis de riego centenas
05H	VD1_RIE_V1	Volumen 1 dosis de riego decenas/unidades
06H	REG1_TV_V1	Registro 1 riego por tiempo/volumen

*HORA\_2*

07H	H2_ARR_V1	Hora 2 arranque de riego
08H	M2_ARR_V1	Minutos 2 arranque de riego
09H	M2_RIE_V1	Minutos 2 duración de riego
0AH	S2_RIE_V1	Segundos 2 duración de riego
0BH	VC2_RIE_V1	Volumen 2 dosis de riego centenas
0CH	VD2_RIE_V1	Volumen 2 dosis de riego decenas/unidades
0DH	REG2_TV_V1	Registro 2 riego por tiempo/volumen

*HORA\_3*

0EH	H3_ARR_V1	Hora 3 arranque de riego
0FH	M3_ARR_V1	Minutos 3 arranque de riego
10H	M3_RIE_V1	Minutos 3 duración de riego
11H	S3_RIE_V1	Segundos 3 duración de riego
12H	VC3_RIE_V1	Volumen 3 dosis de riego centenas
13H	VD3_RIE_V1	Volumen 3 dosis de riego decenas/unidades
14H	REG3_TV_V1	Registro 3 riego por tiempo/volumen

*HORA\_4*

15H	H4_ARR_V1	Hora 4 arranque de riego
16H	M4_ARR_V1	Minutos 4 arranque de riego
17H	M4_RIE_V1	Minutos 4 duración de riego
18H	S4_RIE_V1	Segundos 4 duración de riego
19H	VC4_RIE_V1	Volumen 4 dosis de riego centenas
1AH	VD4_RIE_V1	Volumen 4 dosis de riego decenas/unidades
1BH	REG4_TV_V1	Registro 4 riego por tiempo/volumen

*HORA\_5*

1CH	H5_ARR_V1	Hora 5 arranque de riego
1DH	M5_ARR_V1	Minutos 5 arranque de riego
1EH	M5_RIE_V1	Minutos 5 duración de riego
1FH	S5_RIE_V1	Segundos 5 duración de riego
20H	VC5_RIE_V1	Volumen 5 dosis de riego centenas
21H	VD5_RIE_V1	Volumen 5 dosis de riego decenas/unidades
22H	REG5_TV_V1	Registro 5 riego por tiempo/volumen

LOCALIDAD EEPROM	ETIQUETA	FUNCION
---------------------	----------	---------

*VALVULA 2 (PROGRAMACION MODO SEMANAL)*

*HORA\_1*

23H	H1_ARR_V2	Hora 1 arranque de riego
24H	M1_ARR_V2	Minutos 1 arranque de riego
25H	M1_RIE_V2	Minutos 1 duración de riego
26H	S1_RIE_V2	Segundos 1 duración de riego
27H	VC1_RIE_V2	Volumen 1 dosis de riego centenas
28H	VD1_RIE_V2	Volumen 1 dosis de riego decenas/unidades
29H	REG1_TV_V2	Registro 1 riego por tiempo/volumen

*HORA\_2*

2AH	H2_ARR_V2	Hora 2 arranque de riego
2BH	M2_ARR_V2	Minutos 2 arranque de riego
2CH	M2_RIE_V2	Minutos 2 duración de riego
2DH	S2_RIE_V2	Segundos 2 duración de riego
2EH	VC2_RIE_V2	Volumen 2 dosis de riego centenas
2FH	VD2_RIE_V2	Volumen 2 dosis de riego decenas/unidades
30H	REG2_TV_V2	Registro 2 riego por tiempo/volumen

*HORA\_3*

31H	H3_ARR_V2	Hora 3 arranque de riego
32H	M3_ARR_V2	Minutos 3 arranque de riego
33H	M3_RIE_V2	Minutos 3 duración de riego
34H	S3_RIE_V2	Segundos 3 duración de riego
35H	VC3_RIE_V2	Volumen 3 dosis de riego centenas
36H	VD3_RIE_V2	Volumen 3 dosis de riego decenas/unidades
37H	REG3_TV_V2	Registro 3 riego por tiempo/volumen

*HORA\_4*

38H	H4_ARR_V2	Hora 4 arranque de riego
39H	M4_ARR_V2	Minutos 4 arranque de riego
3AH	M4_RIE_V2	Minutos 4 duración de riego
3BH	S4_RIE_V2	Segundos 4 duración de riego
3CH	VC4_RIE_V2	Volumen 4 dosis de riego centenas
3DH	VD4_RIE_V2	Volumen 4 dosis de riego decenas/unidades
3EH	REG4_TV_V2	Registro 4 riego por tiempo/volumen

*HORA\_5*

3FH	H5_ARR_V2	Hora 5 arranque de riego
40H	M5_ARR_V2	Minutos 5 arranque de riego
41H	M5_RIE_V2	Minutos 5 duración de riego
42H	S5_RIE_V2	Segundos 5 duración de riego
43H	VC5_RIE_V2	Volumen 5 dosis de riego centenas
44H	VD5_RIE_V2	Volumen 5 dosis de riego decenas/unidades
45H	REG5_TV_V2	Registro 5 riego por tiempo/volumen

LOCALIDAD EEPROM	ETIQUETA	FUNCION
---------------------	----------	---------

*VALVULA 3 (PROGRAMACION MODO SEMANAL)*

*HORA\_1*

46H	H1_ARR_V3	Hora 1 arranque de riego
47H	M1_ARR_V3	Minutos 1 arranque de riego
48H	M1_RIE_V3	Minutos 1 duración de riego
49H	S1_RIE_V3	Segundos 1 duración de riego
4AH	VC1_RIE_V3	Volumen 1 dosis de riego centenas
4BH	VD1_RIE_V3	Volumen 1 dosis de riego decenas/unidades
4CH	REG1_TV_V3	Registro 1 riego por tiempo/volumen

*HORA\_2*

4DH	H2_ARR_V3	Hora 2 arranque de riego
4EH	M2_ARR_V3	Minutos 2 arranque de riego
4FH	M2_RIE_V3	Minutos 2 duración de riego
50H	S2_RIE_V3	Segundos 2 duración de riego
51H	VC2_RIE_V3	Volumen 2 dosis de riego centenas
52H	VD2_RIE_V3	Volumen 2 dosis de riego decenas/unidades
53H	REG2_TV_V3	Registro 2 riego por tiempo/volumen

*HORA\_3*

54H	H3_ARR_V3	Hora 3 arranque de riego
55H	M3_ARR_V3	Minutos 3 arranque de riego
56H	M3_RIE_V3	Minutos 3 duración de riego
57H	S3_RIE_V3	Segundos 3 duración de riego
58H	VC3_RIE_V3	Volumen 3 dosis de riego centenas
59H	VD3_RIE_V3	Volumen 3 dosis de riego decenas/unidades
5AH	REG3_TV_V3	Registro 3 riego por tiempo/volumen

*HORA\_4*

5BH	H4_ARR_V3	Hora 4 arranque de riego
5CH	M4_ARR_V3	Minutos 4 arranque de riego
5DH	M4_RIE_V3	Minutos 4 duración de riego
5EH	S4_RIE_V3	Segundos 4 duración de riego
5FH	VC4_RIE_V3	Volumen 4 dosis de riego centenas
60H	VD4_RIE_V3	Volumen 4 dosis de riego decenas/unidades
61H	REG4_TV_V3	Registro 4 riego por tiempo/volumen

*HORA\_5*

62H	H5_ARR_V3	Hora 5 arranque de riego
63H	M5_ARR_V3	Minutos 5 arranque de riego
64H	M5_RIE_V3	Minutos 5 duración de riego
65H	S5_RIE_V3	Segundos 5 duración de riego
66H	VC5_RIE_V3	Volumen 5 dosis de riego centenas
67H	VD5_RIE_V3	Volumen 5 dosis de riego decenas/unidades
68H	REG5_TV_V3	Registro 5 riego por tiempo/volumen

LOCALIDAD EEPROM	ETIQUETA	FUNCION
------------------	----------	---------

VALVULA 4 (PROGRAMACION MODO SEMANAL)

*HORA\_1*

69H	H1_ARR_V4	Hora 1 arranque de riego
6AH	M1_ARR_V4	Minutos 1 arranque de riego
6BH	M1_RIE_V4	Minutos 1 duración de riego
6CH	S1_RIE_V4	Segundos 1 duración de riego
6DH	VC1_RIE_V4	Volumen 1 dosis de riego centenas
6EH	VD1_RIE_V4	Volumen 1 dosis de riego decenas/unidades
6FH	REG1_TV_V4	Registro 1 riego por tiempo/volumen

*HORA\_2*

70H	H2_ARR_V4	Hora 2 arranque de riego
71H	M2_ARR_V4	Minutos 2 arranque de riego
72H	M2_RIE_V4	Minutos 2 duración de riego
73H	S2_RIE_V4	Segundos 2 duración de riego
74H	VC2_RIE_V4	Volumen 2 dosis de riego centenas
75H	VD2_RIE_V4	Volumen 2 dosis de riego decenas/unidades
76H	REG2_TV_V4	Registro 2 riego por tiempo/volumen

*HORA\_3*

77H	H3_ARR_V4	Hora 3 arranque de riego
78H	M3_ARR_V4	Minutos 3 arranque de riego
79H	M3_RIE_V4	Minutos 3 duración de riego
7AH	S3_RIE_V4	Segundos 3 duración de riego
7BH	VC3_RIE_V4	Volumen 3 dosis de riego centenas
7CH	VD3_RIE_V4	Volumen 3 dosis de riego decenas/unidades
7DH	REG3_TV_V4	Registro 3 riego por tiempo/volumen

*HORA\_4*

7EH	H4_ARR_V4	Hora 4 arranque de riego
7FH	M4_ARR_V4	Minutos 4 arranque de riego
80H	M4_RIE_V4	Minutos 4 duración de riego
81H	S4_RIE_V4	Segundos 4 duración de riego
82H	VC4_RIE_V4	Volumen 4 dosis de riego centenas
83H	VD4_RIE_V4	Volumen 4 dosis de riego decenas/unidades
84H	REG4_TV_V4	Registro 4 riego por tiempo/volumen

*HORA\_5*

85H	H5_ARR_V4	Hora 5 arranque de riego
86H	M5_ARR_V4	Minutos 5 arranque de riego
87H	M5_RIE_V4	Minutos 5 duración de riego
88H	S5_RIE_V4	Segundos 5 duración de riego
89H	VC5_RIE_V4	Volumen 5 dosis de riego centenas
8AH	VD5_RIE_V4	Volumen 5 dosis de riego decenas/unidades
8BH	REG5_TV_V4	Registro 5 riego por tiempo/volumen

LOCALIDAD EEPROM	ETIQUETA	FUNCION
---------------------	----------	---------

*VALVULA 5 (PROGRAMACION MODO SEMANAL)*

*HORA\_1*

8CH	H1_ARR_V5	Hora 1 arranque de riego
8DH	M1_ARR_V5	Minutos 1 arranque de riego
8EH	M1_RIE_V5	Minutos 1 duración de riego
8FH	S1_RIE_V5	Segundos 1 duración de riego
90H	VC1_RIE_V5	Volumen 1 dosis de riego centenas
91H	VD1_RIE_V5	Volumen 1 dosis de riego decenas/unidades
92H	REG1_TV_V5	Registro 1 riego por tiempo/volumen

*HORA\_2*

93H	H2_ARR_V5	Hora 2 arranque de riego
94H	M2_ARR_V5	Minutos 2 arranque de riego
95H	M2_RIE_V5	Minutos 2 duración de riego
96H	S2_RIE_V5	Segundos 2 duración de riego
97H	VC2_RIE_V5	Volumen 2 dosis de riego centenas
98H	VD2_RIE_V5	Volumen 2 dosis de riego decenas/unidades
99H	REG2_TV_V5	Registro 2 riego por tiempo/volumen

*HORA\_3*

9AH	H3_ARR_V5	Hora 3 arranque de riego
9BH	M3_ARR_V5	Minutos 3 arranque de riego
9CH	M3_RIE_V5	Minutos 3 duración de riego
9DH	S3_RIE_V5	Segundos 3 duración de riego
9EH	VC3_RIE_V5	Volumen 3 dosis de riego centenas
9FH	VD3_RIE_V5	Volumen 3 dosis de riego decenas/unidades
A0H	REG3_TV_V5	Registro 3 riego por tiempo/volumen

*HORA\_4*

A1H	H4_ARR_V5	Hora 4 arranque de riego
A2H	M4_ARR_V5	Minutos 4 arranque de riego
A3H	M4_RIE_V5	Minutos 4 duración de riego
A4H	S4_RIE_V5	Segundos 4 duración de riego
A5H	VC4_RIE_V5	Volumen 4 dosis de riego centenas
A6H	VD4_RIE_V5	Volumen 4 dosis de riego decenas/unidades
A7H	REG4_TV_V5	Registro 4 riego por tiempo/volumen

*HORA\_5*

A8H	H5_ARR_V5	Hora 5 arranque de riego
A9H	M5_ARR_V5	Minutos 5 arranque de riego
AAH	M5_RIE_V5	Minutos 5 duración de riego
ABH	S5_RIE_V5	Segundos 5 duración de riego
ACH	VC5_RIE_V5	Volumen 5 dosis de riego centenas
ADH	VD5_RIE_V5	Volumen 5 dosis de riego decenas/unidades
AEH	REG5_TV_V5	Registro 5 riego por tiempo/volumen

LOCALIDAD EEPROM	ETIQUETA	FUNCION
------------------	----------	---------

VALVULA 6 (PROGRAMACION MODO SEMANAL)

*HORA\_1*

AFH	H1_ARR_V6	Hora 1 arranque de riego
B0H	M1_ARR_V6	Minutos 1 arranque de riego
B1H	M1_RIE_V6	Minutos 1 duración de riego
B2H	S1_RIE_V6	Segundos 1 duración de riego
B3H	VC1_RIE_V6	Volumen 1 dosis de riego centenas
B4H	VD1_RIE_V6	Volumen 1 dosis de riego decenas/unidades
B5H	REG1_TV_V6	Registro 1 riego por tiempo/volumen

*HORA\_2*

B6H	H2_ARR_V6	Hora 2 arranque de riego
B7H	M2_ARR_V6	Minutos 2 arranque de riego
B8H	M2_RIE_V6	Minutos 2 duración de riego
B9H	S2_RIE_V6	Segundos 2 duración de riego
BAH	VC2_RIE_V6	Volumen 2 dosis de riego centenas
BBH	VD2_RIE_V6	Volumen 2 dosis de riego decenas/unidades
BCH	REG2_TV_V6	Registro 2 riego por tiempo/volumen

*HORA\_3*

BDH	H3_ARR_V6	Hora 3 arranque de riego
BEH	M3_ARR_V6	Minutos 3 arranque de riego
BFH	M3_RIE_V6	Minutos 3 duración de riego
C0H	S3_RIE_V6	Segundos 3 duración de riego
C1H	VC3_RIE_V6	Volumen 3 dosis de riego centenas
C2H	VD3_RIE_V6	Volumen 3 dosis de riego decenas/unidades
C3H	REG3_TV_V6	Registro 3 riego por tiempo/volumen

*HORA\_4*

C4H	H4_ARR_V6	Hora 4 arranque de riego
C5H	M4_ARR_V6	Minutos 4 arranque de riego
C6H	M4_RIE_V6	Minutos 4 duración de riego
C7H	S4_RIE_V6	Segundos 4 duración de riego
C8H	VC4_RIE_V6	Volumen 4 dosis de riego centenas
C9H	VD4_RIE_V6	Volumen 4 dosis de riego decenas/unidades
CAH	REG4_TV_V6	Registro 4 riego por tiempo/volumen

*HORA\_5*

CBH	H5_ARR_V6	Hora 5 arranque de riego
CCH	M5_ARR_V6	Minutos 5 arranque de riego
CDH	M5_RIE_V6	Minutos 5 duración de riego
CEH	S5_RIE_V6	Segundos 5 duración de riego
CFH	VC5_RIE_V6	Volumen 5 dosis de riego centenas
D0H	VD5_RIE_V6	Volumen 5 dosis de riego decenas/unidades
D1H	REG5_TV_V6	Registro 5 riego por tiempo/volumen

LOCALIDAD EEPROM	ETIQUETA	FUNCION
---------------------	----------	---------

*VALVULA 7 (PROGRAMACION MODO SEMANAL)*

*HORA\_1*

D2H	H1_ARR_V7	Hora 1 arranque de riego
D3H	M1_ARR_V7	Minutos 1 arranque de riego
D4H	M1_RIE_V7	Minutos 1 duración de riego
D5H	S1_RIE_V7	Segundos 1 duración de riego
D6H	VC1_RIE_V7	Volumen 1 dosis de riego centenas
D7H	VD1_RIE_V7	Volumen 1 dosis de riego decenas/unidades
D8H	REG1_TV_V7	Registro 1 riego por tiempo/volumen

*HORA\_2*

D9H	H2_ARR_V7	Hora 2 arranque de riego
DAH	M2_ARR_V7	Minutos 2 arranque de riego
DBH	M2_RIE_V7	Minutos 2 duración de riego
DCH	S2_RIE_V7	Segundos 2 duración de riego
DEH	VC2_RIE_V7	Volumen 2 dosis de riego centenas
DFH	VD2_RIE_V7	Volumen 2 dosis de riego decenas/unidades
E0H	REG2_TV_V7	Registro 2 riego por tiempo/volumen

*HORA\_3*

E1H	H3_ARR_V7	Hora 3 arranque de riego
E2H	M3_ARR_V7	Minutos 3 arranque de riego
E3H	M3_RIE_V7	Minutos 3 duración de riego
E4H	S3_RIE_V7	Segundos 3 duración de riego
E5H	VC3_RIE_V7	Volumen 3 dosis de riego centenas
E6H	VD3_RIE_V7	Volumen 3 dosis de riego decenas/unidades
E7H	REG3_TV_V7	Registro 3 riego por tiempo/volumen

*HORA\_4*

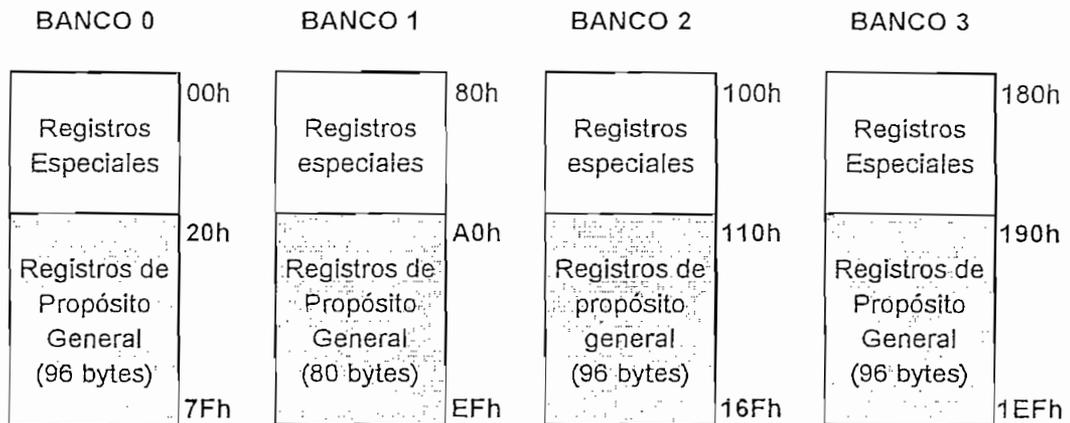
E8H	H4_ARR_V7	Hora 4 arranque de riego
E9H	M4_ARR_V7	Minutos 4 arranque de riego
EAH	M4_RIE_V7	Minutos 4 duración de riego
EBH	S4_RIE_V7	Segundos 4 duración de riego
ECH	VC4_RIE_V7	Volumen 4 dosis de riego centenas
EDH	VD4_RIE_V7	Volumen 4 dosis de riego decenas/unidades
EEH	REG4_TV_V7	Registro 4 riego por tiempo/volumen

*HORA\_5*

EFH	H5_ARR_V7	Hora 5 arranque de riego
F0H	M5_ARR_V7	Minutos 5 arranque de riego
F1H	M5_RIE_V7	Minutos 5 duración de riego
F2H	S5_RIE_V7	Segundos 5 duración de riego
F3H	VC5_RIE_V7	Volumen 5 dosis de riego centenas
F4H	VD5_RIE_V7	Volumen 5 dosis de riego decenas/unidades
F5H	REG5_TV_V7	Registro 5 riego por tiempo/volumen

### 3.1.3.2 DISTRIBUCION DE LA MEMORIA DE DATOS TIPO RAM DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877

El microcontrolador PIC16F877 cuenta con 368 bytes de memoria RAM interna llamada también archivo de registro (register file) dividida en dos grupos: los registros especiales (propios para configuración del microcontrolador) y los registros de propósito general (disponibles al usuario); a la vez éstos se subdividen en 4 bancos como se indica a continuación:



*Figura No. 3.1.2 Mapa de Memoria de Datos tipo RAM del Microcontrolador PIC16F877*

Los 368 bytes disponibles se los ha organizado de tal manera que el temporizador pueda almacenar todos los valores para su funcionamiento, así:

- **BANCO 0** (localidades 20H – 7FH). Debido a que por defecto el microcontrolador trabaja en este banco, los datos que se manejan son en general para desarrollo del programa y también de almacenamiento de datos como se indica a continuación:

LOCALIDAD RAM	ETIQUETA	FUNCION
20H	DATO_A	Variables de temporización para manejo del RTC
21H	DATO_B	
22H	REG_TECLA	Tecla presionada
23H	CURSOR	Posición del cursor
24H	SEGUNDOS	Manejo del RTC
25H	MINUTOS	
26H	HORAS	
27H	WEEKREG	
28H	DIAS	
29H	MESES	
2AH	ANIOS	
2BH	Dato_RTC	Dato leído del RTC
2CH	TESTFILE	Test válvulas
2DH	HIDRO	Calibración hidrómetro
2EH	HIDRO_1	Calibración hidrómetro
2FH	Dato_RTC1	Dato leído del RTC
30H	DIAS_EMER	Riego emergente
31H	WEEK_V1	Días de riego en la semana
32H	WEEK_V2	
33H	WEEK_V3	
34H	WEEK_V4	
35H	WEEK_V5	
36H	WEEK_V6	
37H	WEEK_V7	
38H	WEEK_V8	
39H	MODO_V1	Modo de riego (semanal, cíclico o windows)
3AH	MODO_V2	
3BH	MODO_V3	
3CH	MODO_V4	
3DH	MODO_V5	
3EH	MODO_V6	
3FH	MODO_V7	
40H	MODO_V8	
41H	VALVULA	Válvula programada
42H	HORA	Hora actual
43H	WEEK	Día actual
44H	MODO	Modo actual
45H	HORA_ARR	Hora de arranque
46H	MINU_ARR	Minuto de arranque
47H	MIN_RIE	Minutos de riego
48H	SEG_RIE	segundos de riego
49H	VRIEGOC	Volumen de riego
4AH	VRIEGOD	Volumen de riego
4BH	REG_LM3CTV	Registro tiempo/volumen
4CH	HORA_DES	Hora desde (windows)
4DH	MINU_DES	Minutos desde (windows)
4EH	CADA_HOR	Cada hora (período)

CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo, se detallan las pruebas efectuadas al temporizador las que consistieron en analizar paulatinamente su comportamiento de acuerdo a los requerimientos de diseño planteados. Con cada cambio implementado, se efectuaron las pruebas de funcionamiento respectivas, finalizando con las pruebas del Temporizador instalado en una plantación de la Hacienda “La Giganta” en donde se automatizó los tiempos de riego para uno de sus invernaderos. Como resultado, se verificó el correcto funcionamiento del Temporizador Programable antes y después de su instalación.

#### 4.1 PRUEBAS INICIALES

Las pruebas efectuadas se basaron en analizar el correcto funcionamiento Software – Hardware de todas las ventanas de visualización y/o programación disponibles en el Temporizador.

##### 4.1.1 PRUEBAS PARA “AJUSTE DE TIEMPO”

La primera ventana en el menú principal es la llamada “Ajuste de Tiempo”, al ingresar a esta opción se visualiza en el LCD el calendario y la hora actual presentes en el reloj en tiempo real (RTC); además, el teclado permitió “igualar” el calendario y la hora actual.



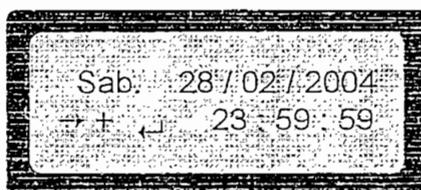
*Figura No. 4.1 Primera Ventana de Programación*

Para obligar al agricultor u operador del Temporizador a llevar sus cronogramas de riego diarios en modo 24 horas o formato militar (los estándares internacionales respecto a cronogramas de tiempos o volúmenes de riego así lo establecen), de inicio se programó el RTC en este modo, *por ende el usuario no podrá cambiar este parámetro.*

La prueba consistió en verificar si el reloj está programado correctamente en modo 24h00 o formato militar; para esto, se fijó o "igualó" la hora en 23h59; esperando al cambio de minuto, se observó que la siguiente hora se fija en 00h00.

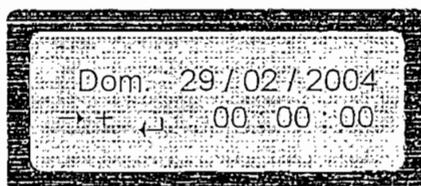
Para simular<sup>4</sup> el cambio de hora al medio día se ajustó la hora en 12h59; esperando al cambio de minuto, se observó que la siguiente hora fue 13h00 (si no fuese formato militar la siguiente hora se hubiese fijado en 01h00 p.m.).

Para verificar el funcionamiento del calendario se ajustó la fecha en un año bisiesto (años múltiplos de 4) y se verificó que el mes de febrero tenga 29 días; así:



*Figura No. 4.2 Visualización y Ajuste de Calendario en Año Bisiesto*

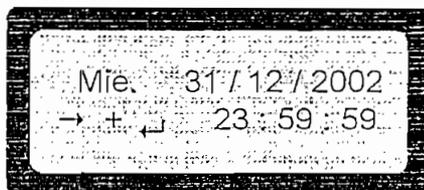
Esperando al cambio de minuto se observó:



*Figura No. 4.3 Verificación de Funcionamiento del RTC en Años Bisiestos*

Con esto se verificó que los días de la semana, el día del mes y las horas están variando correctamente en un año bisiesto.

Para el cambio de año se fijó el calendario al final del año; así:



*Figura No. 4.4 Visualización y Ajuste de Calendario a Fin de Año*

Esperando al cambio de minuto se observó:



*Figura No. 4.5 Verificación de Variación de Años*

Con esto se verificó que el calendario funciona correctamente; el ingreso de datos por el teclado fue aceptado por el microcontrolador - RTC; además, la visualización de todos los parámetros de interés en el LCD fue clara y entendible.

#### 4.1.2 PRUEBAS PARA “TEST” Y “CALIBRAR HIDRÓMETRO”

El Temporizador realiza dos Test; uno para verificar el correcto funcionamiento de las válvulas y otro para verificar que la señal del hidrómetro llega al Temporizador.



*Figura No. 4.6 Segunda Ventana de Programación*

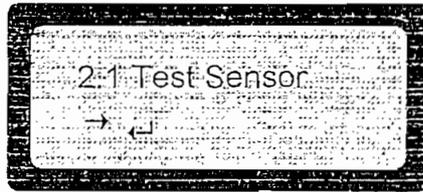


Figura No. 4.7 Sub-ventana de Programación (test sensor)



Figura No. 4.8 Sub-ventana de Programación (test válvulas)

La prueba para verificar el correcto funcionamiento de las salidas a las válvulas en la opción "Test Válvulas" consistió en activar desde el teclado del Temporizador todas las válvulas una a la vez (hay que recordar que para evitar caídas de presión en el sistema hidráulico no se puede activar más que una válvula a la vez), se comprobó con un multímetro en las borneras del Temporizador el cierre - apertura del relé que maneja la válvula principal y de los relés que manejan las 8 válvulas auxiliares; además, se visualizó el encendido - apagado de los LEDs indicadores relacionados a cada válvula.

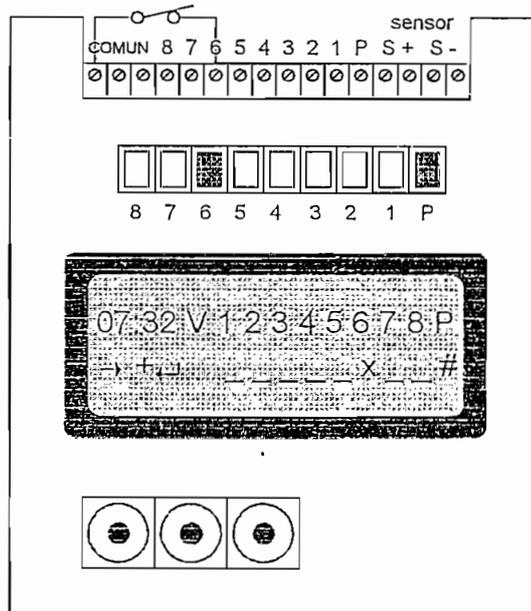


Figura No. 4.9 Test Válvulas (válvula\_6 funcionando)

Con esto se concluyó que las señales de control entregadas por el microcontrolador están siendo manejadas por los Drivers manejadores de relés; por ello, los relés están recibiendo la energía suficiente para activarse y/o desactivarse; además, la visualización de todos los parámetros de interés en el LCD fue clara y entendible.

La prueba para verificar el correcto funcionamiento de la opción "Test Sensor" consistió en instalar un hidrómetro cuya relación de trabajo es 1 pulso = 1 litro.

Antes de conectar el hidrómetro se ingresó a la opción "Calibrar Hidrómetro" y se ingresó el valor mencionado 1 pulso = 1 lts.

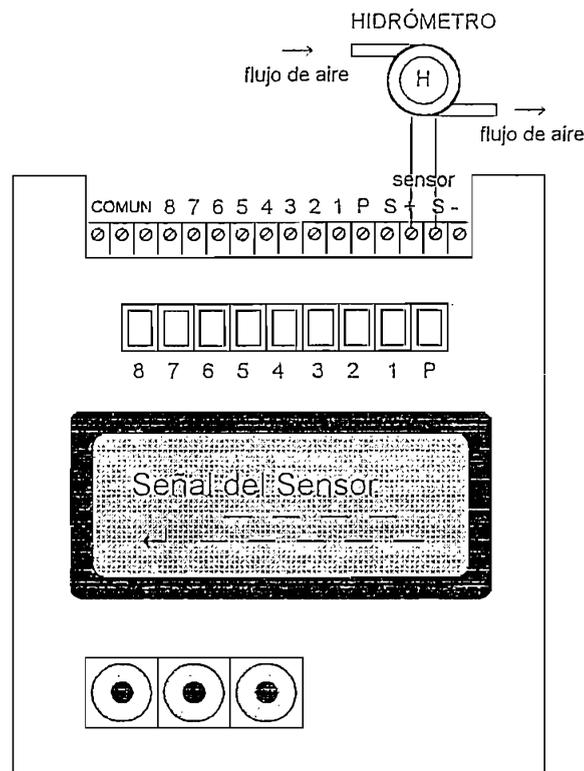


*Figura No. 4.10 Tercera Ventana de Programación (calibrar hidrómetro)*



*Figura No. 4.11 Calibración de Hidrómetro (equivalencia pulsos – litros)*

Regresando a la opción "Test Sensor", se conectó el hidrómetro en las borneras relacionadas a éste disponibles en el Temporizador; se procedió a hacer circular aire por el hidrómetro simulando un caudal de agua, se observó en la pantalla del LCD la señal proveniente del hidrómetro; es decir, un pulso cada 1 litro de agua que ha circulado por el mismo.



*Figura No. 4.11 Test Hidrómetro*

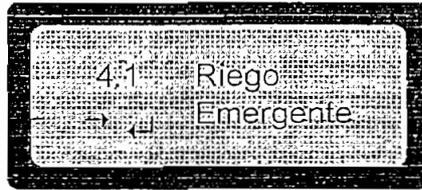
Con esta prueba se verificó que el microcontrolador está recibiendo la señal optoacoplada proveniente del sensor; además, la opción: "Calibración del Hidrómetro" está almacenando el valor equivalente pulso/litro(s) del hidrómetro. Una vez más, la visualización de todos los parámetros de interés en el LCD fue clara y entendible.

#### 4.1.3 PRUEBAS PARA "PROGRAMACIÓN DE RIEGO"

El temporizador presentó dos opciones de programación de riego: Riego Emergente y Riego Automático. Las pruebas realizadas se las hizo independientemente para cada caso; así:



*Figura No. 4.12 Cuarta Ventana de Programación*



*Figura No. 4.13 Sub-ventana Riego Emergente*



*Figura No. 4.14 Sub-ventana Riego Automático*

#### 4.1.3.1 PRUEBAS PARA RIEGO EMERGENTE

Se ingresó a la opción "Riego Emergente", el Temporizador dio la opción de regar 10 minutos cada válvula cíclicamente (una a la vez) repitiéndose el ciclo cada día; es decir, se regó 10 minutos diarios por válvula.

Antes de proceder a regar, la prueba más sencilla que se efectuó fue de ajustar la hora a las 22h30, luego se ingresó y programó el temporizador en riego emergente. El temporizador procedió a activar las 8 válvulas 10 minutos una a la vez; al final de la 8va. válvula siendo las 23h50 se esperó 10 minutos hasta que haya cambio de día en el calendario, en ese instante (00h00 del siguiente día) se observó que el Temporizador procedió automáticamente a regar.

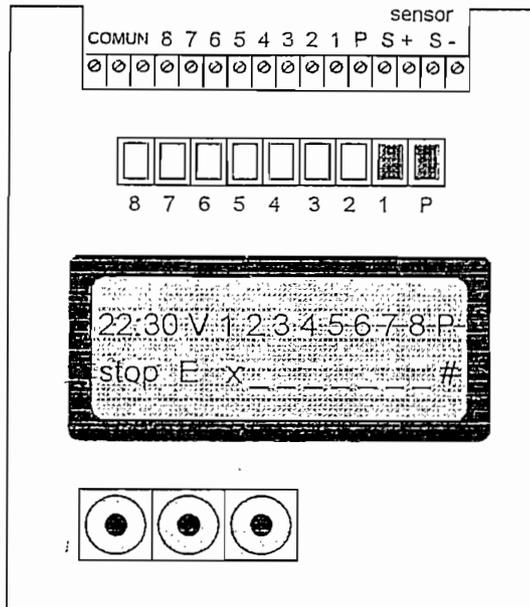


Figura No. 4.15.1 Inicio de Riego Emergente

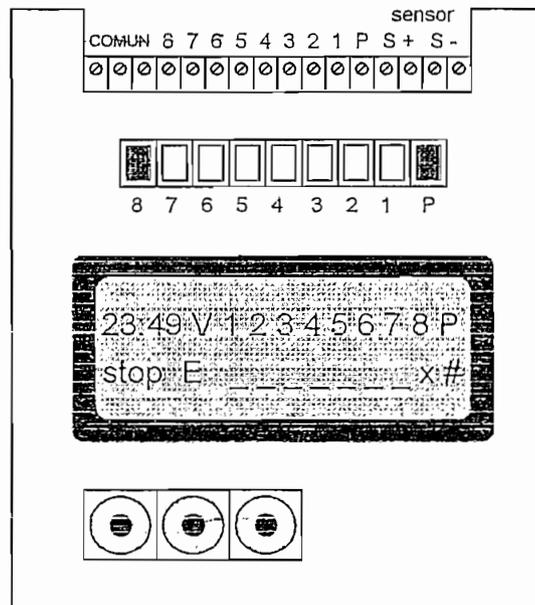


Figura No. 4.15.2 Fin de Riego Emergente

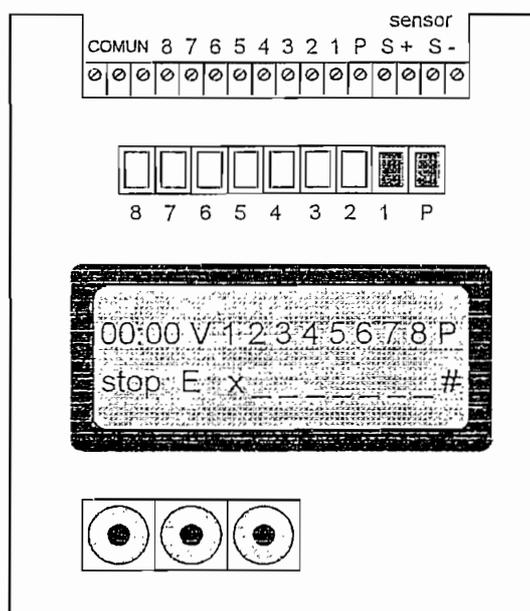


Figura No. 4.15.3 Inicio de Riego Emergente (día siguiente)

Con esto se simuló un riego emergente y se verificó que éste se ejecuta cada día como lo requiere el diseño.

Pruebas anteriores consistieron en regar emergentemente por una semana verificando al igual que esta prueba el correcto funcionamiento en lo que a tiempo de riego, cierre – apertura de relés, visualización de LEDs indicadores y LCD se refiere.

#### 4.1.3.2 PRUEBAS PARA RIEGO AUTOMÁTICO

Con el fin de verificar el riego automático se hicieron las siguientes pruebas:

- *Pruebas para Ingreso del Modo y Días de riego*

La prueba para verificar el ingreso y la memorización de datos consistió en ingresar el modo de riego siendo: *SEMANAL* para las válvulas 1, 4, 7; *CÍCLICO* para las válvulas 2,5,8 y *WINDOWS* para la válvula 3,6; la programación de las tres primeras válvulas se la indica la *Figura No. 4.16*; además, para los modos de riego

semanal y windows, se ingresó días aleatorios de riego con el fin de verificar si los datos ingresados se conservan en la memoria del temporizador.

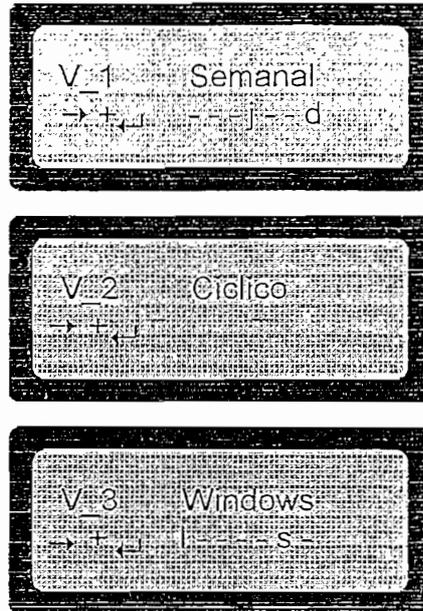
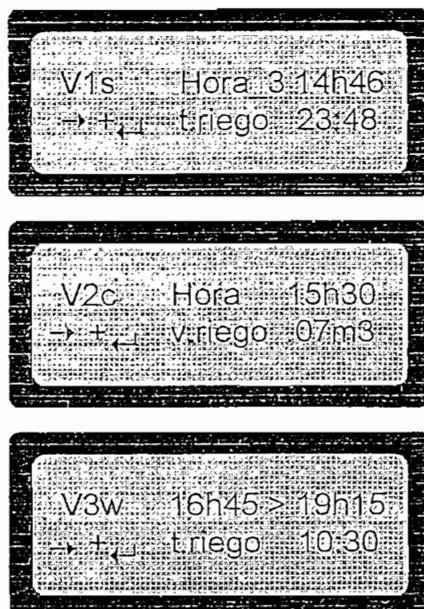


Figura No. 4.16 Programación del modo y Días de Riego

- **Prueba para Ingreso de la Hora de Arranque, Hora de Parada y Tiempo o Volumen de Riego**

Se verificó que, si una o más válvulas fueron programadas en modo semanal, el siguiente submenú da la opción de programar 5 horas de arranque de riego con acceso a programar el tiempo o volumen de riego para cada una de ellas. Si fueron programadas en modo cíclico, el programa dio acceso a una hora de arranque y el tiempo o volumen de duración de riego relacionado a ella; si fueron programadas en modo windows, el programa permitió ingresar la hora de arranque (desde), la hora de parada (hasta) y el tiempo o volumen de riego relacionado a ella como se indica en la *Figura No. 4.17*. Para recordar el modo de programación elegido en la prueba anterior para cada válvula, el LCD visualizó al lado de la válvula el modo de riego programado por ejemplo: V\_1S = válvula 1 modo de riego semanal.



*Figura No. 4.17 Programación de la Hora de Inicio, Fin y Tiempo o Volumen de Riego*

- *Prueba para Ingreso del tiempo cada cuando se ejecutara el riego (periodo)*

Se verificó que si la válvula fue programada en modo de riego semanal el programador visualiza en el LCD "cada semana"; es decir el periodo es semanal y no se tuvo acceso a cambiar la esta condición en esta ventana; para el modo de riego cíclico o windows hizo falta completar el PERIODO de riego, para esto el programa permitió ingresar el tiempo cada cuanto se repetiría el riego; al igual que en la prueba anterior, para recordar el modo de programación elegido para cada válvula, el LCD visualizó al lado de la válvula el modo de riego programado por ejemplo: V\_2C = válvula 2 modo de riego cíclico.

El ingreso del tiempo de cada cuanto se ejecutará el riego cuya explicación se la expuso anteriormente, se lo representa gráficamente en la *Figura No. 4.18*.



*Figura No. 4.18 Programación "Tiempo Cada" o Repetición de Riego*

Una vez ingresados todos los parámetros expuestos en las pruebas anteriores se volvió a ingresar a cada una de las ventanas o submenús de programación de riego automático verificando que todos los datos han sido almacenados; además, se suspendió la energía y se verificó que la batería de respaldo cumplió con su función de preservar los datos.

- *Cálculo de la siguiente hora de riego en programación modo cíclico y windows.*

Para probar que el cálculo de la siguiente hora de riego para los modos de programación de riego cíclico o windows (donde el cálculo se hace obligatorio) se realizaron las siguientes pruebas:

PRUEBA	VÁLVULA	PROGRAMACIÓN	DÍA DE RIEGO	HORA DE INICIO DE RIEGO	TIEMPO DE RIEGO	SE REPITE CADA	SIGUIENTE HORA DE RIEGO (vista en el LCD)
1	V_1	Cíclico	lunes	07h00	00:01 (1 seg.) tiempo mínimo	00h01 (1 mín.) período mínimo	07h01
2	V_1	Windows	lunes	07h05	00:01 (1 seg.) tiempo mínimo	00:01 (1 mín.) período mínimo	07h06
3	V_1	Cíclico	lunes	08h00	59:59 (1 hora.) tiempo máximo	23h59 (1 día.) período máximo	08h00 (del martes)
4	V_1	Windows	lunes	09h00	59:59 (1 hora.) tiempo máximo	23:59 (1 día.) período máximo	09h00 (del martes)

*Tabla No. 4.1 Pruebas para Verificar el Cálculo de la Siguiete Hora de Riego*

Para los modos de programación en que se hace necesario determinar la siguiente hora de riego dado la hora de inicio, el tiempo de riego y el período de repetición de riego (cíclico y windows), el Temporizador (concretamente el microcontrolador) ejecutó una subrutina de cálculo de la siguiente hora de riego; para ello, se hicieron cuatro pruebas como se indica en la *Tabla No. 4.1*; en la primera y segunda prueba, se programaron el tiempo mínimo y período mínimo de riego procediendo a verificar el correcto cálculo de la siguiente hora de riego; así, para el mínimo tiempo de riego, (1 segundo): si la hora de inicio de riego fue a las 7h00, el tiempo de riego 1 segundo y se repitió este ciclo cada 1 minuto, la siguiente hora de riego fue calculada a las 07h01 como se esperaba (la misma prueba se repitió para modo windows). En la tercera y cuarta prueba se programó el máximo tiempo de riego (1 hora) y el máximo período de riego (1 día); así, si la hora de inicio de riego fue a las 08h00 del lunes, el tiempo de riego 1 hora y se repitió este ciclo cada 1 día, la siguiente hora de riego fue calculada a las 8h00 del día martes como se esperaba.

- *Tiempo y volumen MÍNIMO de riego para todos los modos de programación de riego.*

Para cualquier válvula, en cualquier modo de programación, el tiempo mínimo de riego es 1 segundo y el período mínimo de riego es 1 minuto; así, se programó la válvula 1 en los tres modos de programación (tres pruebas independientes), con

un tiempo de riego mínimo de 1segundo y repitiéndose el ciclo cada 1 minuto como lo indica la siguiente tabla:

PRUEBA	VÁLVULA	PROGRAMACIÓN	DÍA DE RIEGO	HORA DE INICIO DE RIEGO	HORA DE PARADA DE RIEGO	TIEMPO DE RIEGO	SE REPITE CADA
1	V_1	Semanal	lunes	08h00	*	00:01 (1 seg.) tiempo mínimo	00h01 (1 min.) período mínimo
2	V_1	Cíclico	lunes	08h10	*	00:01 (1 seg.) tiempo mínimo	00h01 (1 min.) período mínimo
3	V_1	Windows	lunes	08h20	08h30	00:01 (1 seg.) tiempo mínimo	00h01 (1 min.) período mínimo

*Tabla No. 4.2 Pruebas para Tiempo Mínimo de Riego*

Para riego por volumen, se realizaron las mismas pruebas con la excepción de que el volumen mínimo de riego sea de 1 litro ya que el hidrómetro disponible para las pruebas genera un pulso cada un litro; antes de proceder a realizar las pruebas se "calibró el hidrómetro" en dicho valor (1 pulso = 1 litro). El caudal simulado es menor a 1litro/segundo por lo que se le dio un tiempo mínimo de riego de 1 minuto y un período mínimo de 2 minutos como lo indica la *Tabla No. 4.3*.

PRUEBA	VÁLVULA	PROGRAMACIÓN	DÍA DE RIEGO	HORA DE INICIO DE RIEGO	HORA DE PARADA DE RIEGO	TIEMPO DE RIEGO	SE REPITE CADA
1	V_1	Semanal	Lunes	08h00	*	01:00 (1 min.) tiempo mínimo	00h02 (2 min.) período mínimo
2	V_1	Cíclico	Lunes	08h10	*	01:00 (1 min.) tiempo mínimo	00h02 (2 min.) período mínimo
3	V_1	Windows	Lunes	08h20	08h30	01:00 (1 min.) tiempo mínimo	00h02 (2 min.) período mínimo

*Tabla No. 4.3 Pruebas para Volumen Mínimo de Riego*

Para los tres modos de programación se observó que el tiempo, volumen y período mínimo de riego se cumplieron como se esperaba; además, al igual que el test anterior se verificó el correcto cálculo de la siguiente hora de riego para todos las pruebas efectuadas; se comprobó también el funcionamiento de el cierre – apertura de relés, visualización de LEDs y LCD.

- *Tiempo y volumen MÁXIMO de riego para todos los modos de programación de riego.*

Para cualquier válvula, en cualquier modo de programación, el tiempo máximo de riego es 1 hora y el período máximo de riego es 1 día; así, se programó la válvula 1 en los tres modos de programación (tres pruebas independientes), con un tiempo de riego máximo de 1 hora y repitiéndose el ciclo cada 1 día como lo indica la siguiente tabla:

PRUEBA	VÁLVULA	PROGRAMACIÓN	DÍA DE RIEGO	HORA DE INICIO DE RIEGO	TIEMPO DE RIEGO	SE REPITE CADA
1	V_1	Semanal	lunes	08h00	59:59 (1 hora.) tiempo máximo	23h59 (1 día.) período máximo
2	V_1	Cíclico	lunes	09h01	59:59 (1 hora.) tiempo máximo	23h59 (1 día.) período máximo
3	V_1	Windows	lunes	10h01	59:59 (1 hora.) tiempo máximo	23h59 (1 día.) período máximo

*Tabla No. 4.4 Pruebas para Tiempo Máximo de Riego*

Para riego por volumen, se realizaron las mismas pruebas con la excepción de que el volumen máximo de riego sea de  $10 \text{ m}^3$ ; antes de proceder a realizar las pruebas se "calibró el hidrómetro" en 1 pulso = 1 litro (hidrómetro disponible). El caudal simulado me garantizó la circulación de  $1 \text{ m}^3$  en menos de un día con lo que la prueba fue bien efectuada.

Los valores programados en el Temporizador son los que se indican en la *Tabla No. 4.5* a continuación:

PRUEBA	VÁLVULA	PROGRAMACIÓN	DÍA DE RIEGO	HORA DE INICIO DE RIEGO	TIEMPO DE RIEGO	SE REPITE CADA
1	V_1	Semanal	lunes	08h00	10 m <sup>3</sup> volumen máximo	23h59 (1 día.) período máximo
2	V_1	Cíclico	lunes	09h01	10 m <sup>3</sup> volumen máximo	23h59 (1 día.) período máximo
3	V_1	Windows	lunes	10h01	10 m <sup>3</sup> volumen máximo	23h59 (1 día.) período máximo

*Tabla No.4.5 Pruebas para Volumen Máximo de Riego*

Para los tres modos de programación se observó que el tiempo, volumen y período máximo de riego se cumplieron como se esperaba; además, al igual que el test anterior se verificó el correcto cálculo y visualización de la siguiente hora de riego para todas las pruebas efectuadas; se comprobó también el funcionamiento de el cierre – apertura de relés, visualización de LEDs y LCD.

- *Pruebas independientes para cada modo de programación de riego automático.*

El Temporizador riega automáticamente en tres modos: Semanal, Cíclico y Windows; por esto, las pruebas se las realiza independientemente para cada modo y al final se combinan los modos con el fin de verificar su funcionamiento.

- *Pruebas para riego en modo SEMANAL*

Se programaron todas las válvulas en modo semanal los días indicados en la *Tabla No. 4.6* (primera ventana para ingreso de datos); en este modo de programación el temporizador dio acceso a programar 5 horas de inicio de riego con su tiempo (duración) de riego respectivo en el día especificado; se ingresaron dichas horas de inicio de riego y duraciones de riego (segunda ventana para ingreso de datos) como lo indica la siguiente tabla:

VÁLVULA	PROGRAMACIÓN MODO DE RIEGO	DIAS DE RIEGO	HORAS DE INICIO DE RIEGO	TIEMPO DE RIEGO
V_1	semanal	lunes	00h00, 00h10, 00h20 00h30, 00h40	05:00 (5 min.)
V_2	semanal	martes	00h50, 01h00, 01h10 01h20, 01h30	05:00 (5 min.)
V_3	semanal	miércoles	01h40, 01h50, 02h00 02h10, 02h20	05:00 (5 min.)
V_4	semanal	jueves	02h30, 02h40, 02h50 03h00, 03h10	05:00 (5 min.)
V_5	semanal	viernes	03h20, 03h30, 03h40 03h50, 04h00	05:00 (5 min.)
V_6	semanal	sábado	04h10, 04h20, 04h30 04h40, 04h50	05:00 (5 min.)
V_7	semanal	domingo	05h00, 05h10, 05h20 05h30, 05h40	05:00 (5 min.)
V_8	semanal	lunes	05h50, 06h00, 06h10 06h20, 06h30	05:00 (5 min.)

*Tabla No. 4.6 Pruebas para Riego en modo Semanal*

Para evitar choques de horas de inicio se programan todas las válvulas en días diferentes, horas de arranque de riego diferentes. En el transcurso de la semana se observó que hay tiempos de riego que no se ejecutan, encontrándose y corrigiéndose un error en una subrutina de almacenamiento de datos (direccionamiento indirecto) en el microcontrolador.

La siguiente semana se programó al Temporizador de una manera diferente; se ejecutó el riego todos los días de la semana, haciendo coincidir algunas horas de inicio de riego y haciendo coincidir una válvula regando con otra que debía regar en ese instante, poniendo en funcionamiento la subrutina "en espera". La *Tabla No. 4.7* expone los valores ingresados al programador.

VÁLVULA	PROGRAMACIÓN MODO DE RIEGO	DÍAS DE RIEGO	HORAS DE INICIO DE RIEGO	TIEMPO DE RIEGO
V_1	semanal	de lunes a domingo	00h00, 00h10, 00h20 00h30, 00h40	05:00 (5 min.)
V_2	semanal	de lunes a domingo	00h50, 01h00, 01h10 01h20, 01h30	10:00 (10 min.)
V_3	semanal	de lunes a domingo	01h40, 01h50, 02h00 02h10, 02h20	15:00 (15 min.)
V_4	semanal	de lunes a domingo	02h30, 02h40, 02h50 03h00, 03h10	20:00 (20 min.)
V_5	semanal	de lunes a domingo	00h00, 00h10, 00h20 00h30, 00h40	05:00 (5 min.)
V_6	semanal	de lunes a domingo	00h50, 01h00, 01h10 01h20, 01h30	10:00 (10 min.)
V_7	semanal	de lunes a domingo	01h40, 01h50, 02h00 02h10, 02h20	15:00 (15 min.)
V_8	semanal	de lunes a domingo	02h30, 02h40, 02h50 03h00, 03h10	20:00 (20 min.)

*Tabla No.4.7 Pruebas para Riego en modo Semanal*

Se observó que los tiempos de riego se ejecutaron de acuerdo a lo programado; además, cuando una o más válvulas tenían que arrancar y otra estaba regando estas entraban en espera y una vez que terminaba de regar la que no les dejó arrancar, procedían a regar por orden de llegada y en secuencia.

Las dos pruebas se repitieron pero cambiando tiempo de riego por volumen de riego; se utilizó para ello, un hidrómetro de 1Pulso/Litro; se programó como en las *Tablas No. 4.6 y 4.7* con la diferencia que en lugar de tiempo de riego en minutos se cambió a volumen de riego en litros (pruebas 1 y 2 (modo semanal): tiempo de riego = 5 min. / pruebas 2 y 3 (modo semanal): volumen de riego = 5 lts.) observándose el mismo comportamiento.

▪ *Pruebas para riego en modo cíclico*

Se programaron todas las válvulas en modo cíclico (primera ventana para ingreso de datos); el temporizador dio acceso a ingresar una hora de inicio de riego para cada válvula, programadas como se muestra en la *Tabla No. 4.8* (segunda ventana para ingreso de datos); para completar el ciclo de riego, el temporizador dio acceso a una tercera ventana de programación para ingreso de el período de riego (cada cuanto se repite el ciclo). Todos los datos ingresados al programador para este modo de programación se muestra en la siguiente tabla:

VALVULA	PROGRAMACION MODO DE RIEGO	HORA DE INICIO DE RIEGO	TIEMPO DE RIEGO	SE REPITE CADA
V_1	cíclico	08h00	00:05 (5 seg.)	00h10 (10 min.)
V_2	cíclico	08h01	00:05 (5 seg.)	00h10 (10 min.)
V_3	cíclico	08h02	00:05 (5 seg.)	00h10 (10 min.)
V_4	cíclico	08h03	00:05 (5 seg.)	00h10 (10 min.)
V_5	cíclico	08h04	00:05 (5 seg.)	00h10 (10 min.)
V_6	cíclico	08h05	00:05 (5 seg.)	00h10 (10 min.)
V_7	cíclico	08h06	00:05 (5 seg.)	00h10 (10 min.)
V_8	cíclico	08h07	00:05 (5 seg.)	00h10 (10 min.)

*Tabla No. 4.8 Pruebas para Riego en modo Cíclico (diferentes horas de arranque)*

Al no haber choque de horas de inicio y siendo los períodos de repetición los mismos se observó durante un día que el funcionamiento es el esperado.

Luego se programó las válvulas en modo de riego cíclico pero haciendo coincidir la hora de inicio de riego , el tiempo de riego y el periodo de todas las válvulas como lo indica la *Tabla No. 4.9* a continuación:

VALVULA	PROGRAMACION MODO DE RIEGO	HORA DE INICIO DE RIEGO	TIEMPO DE RIEGO	SE REPITE CADA
V_1	cíclico	08h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_2	cíclico	08h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_3	cíclico	08h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_4	cíclico	08h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_5	cíclico	08h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_6	cíclico	08h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_7	cíclico	08h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_8	cíclico	08h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)

*Tabla No. 4.9 Pruebas para Riego en modo Cíclico (iguales horas de arranque)*

En este modo de programación y con este cronograma de riego fue muy notorio apreciar como las válvulas entraron en "espera" regándose secuencialmente y en orden una tras otra; 5 segundos de riego cada válvula, repitiéndose este ciclo cada minuto.

Las dos pruebas se repitieron pero cambiando tiempo de riego por volumen de riego; se utilizó para ello, un hidrómetro de 1Pulso/Litro; se programó como en las *Tablas No. 4.8 y 4.9* con la diferencia que en lugar de tiempo de riego en minutos se cambió a volumen de riego en litros (pruebas 1 y 2 (modo cíclico): tiempo de riego = 5 seg. / pruebas 2 y 3 (modo cíclico): volumen de riego = 1 lts.) observándose el mismo comportamiento.

- *Pruebas para riego en modo WINDOWS*

Se procedió a efectuar las mismas pruebas que en modo cíclico, con la diferencia que para este modo de programación se añadió una hora de parada y la especificación del día de riego como lo indican las *Tablas No. 4.10 y 4.11*.

VALVULA	PROGRAMACION MODO DE RIEGO	DÍA DE RIEGO	HORA DE INICIO DE RIEGO	HORA DE PARADA DE RIEGO	TIEMPO DE RIEGO	SE REPITE CADA
V_1	windows	lunes	08h00	17h00	00:30 (30 seg.)	00h10 (10 min.)
V_2	windows	lunes	08h01	17h01	00:30 (30 seg.)	00h10 (10 min.)
V_3	windows	lunes	08h02	17h02	00:30 (30 seg.)	00h10 (10 min.)
V_4	windows	lunes	08h03	17h03	00:30 (30 seg.)	00h10 (10 min.)
V_5	windows	lunes	08h04	17h04	00:30 (30 seg.)	00h10 (10 min.)
V_6	windows	Lunes	08h05	17h05	00:30 (30 seg.)	00h10 (10 min.)
V_7	windows	Lunes	08h06	17h06	00:30 (30 seg.)	00h10 (10 min.)
V_8	windows	Lunes	08h07	17h07	00:30 (30 seg.)	00h10 (10 min.)

*Tabla No. 4.10 Pruebas para Riego en modo Windows (diferentes horas de arranque y parada)*

VALVULA	PROGRAMACION MODO DE RIEGO	DÍA DE RIEGO	HORA DE INICIO DE RIEGO	HORA DE PARADA DE RIEGO	TIEMPO DE RIEGO	SE REPITE CADA
V_1	windows	de lunes a domingo	08h00	17h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_2	windows	de lunes a domingo	08h00	17h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_3	windows	de lunes a domingo	08h00	17h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_4	windows	de lunes a domingo	08h00	17h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_5	windows	de lunes a domingo	08h00	17h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_6	windows	de lunes a domingo	08h00	17h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_7	windows	de lunes a domingo	08h00	17h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)
V_8	windows	de lunes a domingo	08h00	17h00	00:05 (5 seg.)	00h01 (1 min.)

*Tabla No. 4.11 Pruebas para Riego en modo Windows (iguales horas de arranque y parada)*

La programación en modo windows se observó como una programación cíclica pero regando días específicos con una hora de parada (que no la tiene el modo cíclico). Se observó que la subrutina que discierne el día que tiene que regar y la hora en que tiene que parar de regar funciona como se esperaba.

## 4.2 PRUEBAS EN CAMPO

El Temporizador Programable fue instalado en la Hacienda "La Giganta" ubicada en el sector de "San José de Minas" al Noreste de la Provincia de Pichincha al Norte de Ecuador.

Hasta la actualidad el Temporizador esta entregando tiempos y volúmenes de riego a un banco de enraizamiento de flores tipo "Million Stars" que es el único tipo de planta que se produce en esta hacienda.

### 4.2.1 BANCOS DE ENRAIZAMIENTO

En los invernaderos de la Hacienda se ha desarrollado y ajustado un método de propagación vegetativa a partir de estacas (pequeñas ramas), que consiste básicamente en conseguir enraizar y poner en pequeñas macetas las estacas de las flores tipo "Million Stars". En esas condiciones se han conseguido porcentajes de enraizamiento muy altos y la multiplicación de varios miles de plantas por mes basados en una correcta programación de tiempos y volúmenes de fertiriego (antes en modo manual, ahora en modo automático), sin duda algo de extrema importancia en el desarrollo inicial de la planta.

Los tallos con hojas que se transformarán en plantas se colocan en 20 grandes mesas, llamadas "bancadas de enraizamiento", que contiene recipientes de entre 10 y 15 cm. de tierra, perlita y turba (cáscara de arroz) como sustrato con el fin de mantener la humedad en su suelo. Estas bancadas están provistas de microaspersores controlados desde 5 válvulas auxiliares manejando un total de 4 bancadas cada una completando un total de 20 bancadas o mesas de enraizamiento cuyos tiempos o volúmenes de riego son manejados desde el temporizador programable instalado.

Además de una hormona de enraizamiento (fertilizante), se les aplica un riego intermitente a través de un microaspersor que transforma las gotas de agua en microgotitas que se mantienen suspendidas durante mucho tiempo en el ambiente.

Así, se obtienen plantas de valor comercial y vegetativo, es decir, una estaca enraizada en maceta rustificada con una yema de al menos, tres hojas en activo crecimiento. Los plantines de “Millión Stars” que el invernadero produce, entrega a la empresa raíces de alta calidad después de 4 a 5 semanas de riego electrónico controlado por el Temporizador Programable.

## **4.2.2 PROGRAMACIÓN DE RIEGO**

Antes de ejecutar la programación y la ejecución de riego, se procedió a la conexión del temporizador como lo establece el manual del usuario, luego se ajustó el tiempo y calendario; se efectuó un test a la salida de las válvulas verificando el correcto funcionamiento del sistema temporizador programable – válvulas – fuente de alimentación; se pudo ver que todo trabajó con normalidad.

El riego del banco de enraizamiento se lo efectúa continuamente durante 4 semanas programadas de la siguiente manera:

### **4.2.2.1 PRIMERA SEMANA: RIEGO EN MODO CÍCLICO Y SEMANAL**

El cronograma de riego para la primera semana una vez plantadas las raíces en los recipientes e ingresadas al invernadero es el siguiente:

Las 5 primeras válvulas (V\_1 – V\_5) riegan 4 bancadas de enraizamiento cada una en modo cíclico todos los días de la semana, un tiempo 2 segundos de riego por microaspersión cada 10 minutos, las 3 válvulas restantes (V\_6 – V\_8) se las utiliza para el riego por aspersion de fertilizante los fines de semana exactamente los días Viernes, regando un tiempo de 10 segundos y repitiendo esta dosis cada semana.

VÁLVULA	PRIMERA VENTANA DE INGRESO DE DATOS		SEGUNDA VENTANA DE INGRESO DE DATOS		TERCERA VENTANA DE INGRESO DE DATOS	
	PROGRAMACIÓN	DÍA DE RIEGO	HORA DE INICIO	TIEMPO DE RIEGO	CADA	ELEMENTO
V_1	CÍCLICA	Todos los días	9h00	2 seg.	10 min.	AGUA
V_2	CÍCLICA	Todos los días	9h00	2 seg.	10 min.	
V_3	CÍCLICA	Todos los días	9h00	2 seg.	10 min.	
V_4	CÍCLICA	Todos los días	9h00	2 seg.	10 min.	
V_5	CÍCLICA	Todos los días	9h00	2 seg.	10 min.	
V_6	SEMANAL	Viernes	17h00	10 seg.	Semana	FERTILIZANTE
V_7	SEMANAL	Viernes	17h01	10 seg.	Semana	
V_8	SEMANAL	Viernes	17h02	10 seg.	Semana	

Tabla No. 4.12 Cronograma de Riego - Primera Semana

#### 4.2.2.2 SEGUNDA Y TERCERA SEMANAS: RIEGO EN MODO WINDOWS Y SEMANAL

El cronograma de riego para la segunda y tercera semanas una vez superada la etapa de adaptación al suelo de las raíces (que dura una semana) y su disposición de crecimiento es el siguiente:

Las 5 primeras válvulas (V\_1 – V\_5) riegan 4 bancadas de enraizamiento cada una en modo windows todos los días de la semana, un tiempo 2 segundos de riego por microaspersión cada 5 minutos, las 3 válvulas restantes (V\_6 – V\_8) se las utiliza para el riego por aspersión de fertilizante los fines de semana exactamente los días Viernes, regando un tiempo de 5 segundos y repitiendo esta dosis cada semana.

VÁLVULA	PRIMERA VENTANA DE INGRESO DE DATOS		SEGUNDA VENTANA DE INGRESO DE DATOS			TERCERA VENTANA DE INGRESO DE DATOS	
	PROG.	DÍA DE RIEGO	HORA INICIO	HORA PARADA	TIE. DE RIEGO	CADA	ELEMENTO
V_1	WINDOWS	Todos los días	9h00	17h00	1 seg.	5 min.	AGUA
V_2	WINDOWS	Todos los días	9h00	17h00	1 seg.	5 min.	
V_3	WINDOWS	Todos los días	9h00	17h00	1 seg.	5 min.	
V_4	WINDOWS	Todos los días	9h00	17h00	1 seg.	5 min.	
V_5	WINDOWS	Todos los días	9h00	17h00	1 seg.	5 min.	
V_6	SEMANAL	Viernes	17h00	*	5 seg.	Semana	FERTILIZANTE
V_7	SEMANAL	Viernes	17h00	*	5 seg.	Semana	
V_8	SEMANAL	Viernes	17h00	*	5 seg.	Semana	

Tabla No. 4.13 Cronograma de Riego – Segunda y Tercera Semanas

#### 4.2.2.3 CUARTA SEMANA: RIEGO EN MODO WINDOWS Y SEMANAL

El cronograma de riego para última semana de riego, cuando la raíz esta lista para ser plantada es el siguiente:

Las 5 primeras válvulas (V\_1 – V\_5) riegan 4 bancadas de enraizamiento cada una en modo windows todos los días de la semana, un tiempo de 1 segundo de riego por microaspersión cada 5 minutos, las 3 válvulas restantes (V\_6 – V\_8) se las utiliza para el riego por aspersión de fertilizante los fines de semana exactamente los días Viernes, regando un tiempo de 2 segundos y repitiendo esta dosis cada semana.

VÁLVULA	PRIMERA VENTANA DE INGRESO DE DATOS		SEGUNDA VENTANA DE INGRESO DE DATOS			TERCERA VENTANA DE INGRESO DE DATOS	
	PROG.	DÍA DE RIEGO	HORA INICIO	HORA PARADA	TIE. DE RIEGO	CADA	ELEMENTO
V_1	WINDOWS	Todos los días	9h00	17h00	1 seg.	5 min.	AGUA
V_2	WINDOWS	Todos los días	9h00	17h00	1 seg.	5 min.	
V_3	WINDOWS	Todos los días	9h00	17h00	1 seg.	5 min.	
V_4	WINDOWS	Todos los días	9h00	17h00	1 seg.	5 min.	
V_5	WINDOWS	Todos los días	9h00	17h00	1 seg.	5 min.	
V_6	SEMANTAL	Viernes	17h00	*	2 seg.	Semana	FERTILIZANTE
V_7	SEMANTAL	Viernes	17h00	*	2 seg.	Semana	
V_8	SEMANTAL	Viernes	17h00	*	2 seg.	Semana	

*Tabla No. 4.14 Cronograma de Riego – Cuarta Semana*

Se pudo observar al final de la cuarta semana de riego que el cronograma establecido o programación de riego semanal cíclica y windows se cumplió con total normalidad; además, se estableció que reemplazar el riego en modo manual por el riego en modo automático efectuado por el temporizador instalado presenta las siguientes ventajas:

- La dosificación de tiempo y volumen de riego es más exacta en el riego en modo automático, con lo que se hace notorio el ahorro de agua, fertilizante y mano de obra.

- Se mejora considerablemente la calidad de las raíces, con lo que el producto a desarrollarse en el campo presenta mayor resistencia a plagas y con ello se garantiza que su crecimiento y desarrollo será óptimo.
- La programación del temporizador es tan amigable para el agricultor que a partir de las primeras pruebas de funcionamiento creció la expectativa del proyecto aumentando el riego no solo por tiempo si no por volumen, con ciclos de riego repetitivos cada hora, día y mes cubriendo las necesidades del agricultor y los objetivos de este trabajo.
- La automatización de tiempos y volumen de riego en la agricultura constituye uno de los tantos proyectos que lleva adelante la empresa privada como es el caso de "ISRARIEGO" como parte de su plan de excelencia de servicios y contribución a la modernización de la agro industria ecuatoriana y sudamericana. La evaluación global de los resultados se ve claramente en el mejoramiento de la producción socio económica en el sector agro industrial en los últimos años.

## CAPITULO 5

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El Temporizador está diseñado para su instalación en caseta o lugar protegido de la lluvia, los aspersores, microaspersores y la humedad en general. Solo una válvula puede ser conectada a cada estación; si se utiliza una bomba, conectar la estación principal a un relé de 24VAC, no conectar la bomba directamente al temporizador. Debe ser conectado a la red sólo después de conectar los cables provenientes de válvulas e hidrómetro (sensor).
- Se recomienda que el operador tenga conocimientos básicos de cronogramas, logística y necesidades de riego de productos desarrollados en invernaderos o plantaciones agrícolas en general, así se le sacará el mayor de los provechos al temporizador y al cultivo.
- Se pueden utilizar fuentes de alimentación o elementos conocidos en el mercado como "adaptadores" o convertidores de voltaje de hasta 30VDC – 1000mA máximo y 12VDC – 500mA mínimo para el correcto funcionamiento del equipo; éstos son de fácil adquisición y reemplazo.
- Se recomienda el uso del manual del usuario disponible en los Anexos el que proporciona la información necesaria para una correcta operación y conexión del Temporizador Programable.



## BIBLIOGRAFÍA

- **ANGULO USATEGUI JOSE, ANGULO MARTINEZ IGNACIO**  
"Microcontroladores PIC, Diseño Práctico de Aplicaciones"  
Editorial McGraw Hill, 2da. Edición, 1999, España.
- **MICROCHIP TECHNOLOGY INC.**  
"Embedded Control Handbook (ECHB)"  
Serving A Complex And Competitive World Whit Field - Programmable  
Embedded Control System Solutions.  
Volume 1, 2001, USA.
- **MICROCHIP TECHNOLOGY INC.**  
"PIC16F87X, 18/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers User's Manual  
and Data Sheet"  
2001, USA.
- **EPSON**  
"RTC-58321/58323 Real Time Clock Module User's Manual and Data Sheet"  
USA 2001.
- **DAVID WM. REED**  
"A Grower's Guide to Water, Media, and Nutrition for Greenhouse Crops"  
Ball Publishing, 1996, Batavia Illinois USA.

- **FERNANDO PIZARRO**  
"Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF), Goteo, Microaspersión y Exudación"  
Ediciones Mundi - Prensa, 1996, España.
- **WASHINGTON A. PADILLA G**  
"Segundo Curso Internacional de Fertirrigación en Cultivos Protegidos"  
Universidad San Francisco de Quito, Colegio Mayor de Educación Continua, AGROBIOLAB – Grupo Clínica Agrícola, 1998, Quito Ecuador.
- **ROBERTO NATHAN**  
"La Fertilización Combinada con el Riego"  
Estado de Israel, Ministerio de Agricultura, CINADCO Centro de Cooperación Internacional Para el Desarrollo Agricultura, 1994, Israel.

## REFERENCIAS ADICIONALES

- <http://www.microchip.com>
- <http://www.hobbiepic.com>
- <http://www.elriego.com>

**ANEXO A**  
**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**



**MICROCHIP**

---

**PIC16F87X**  
**Data Sheet**

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH  
Microcontrollers



MICROCHIP

# PIC16F87X

## 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

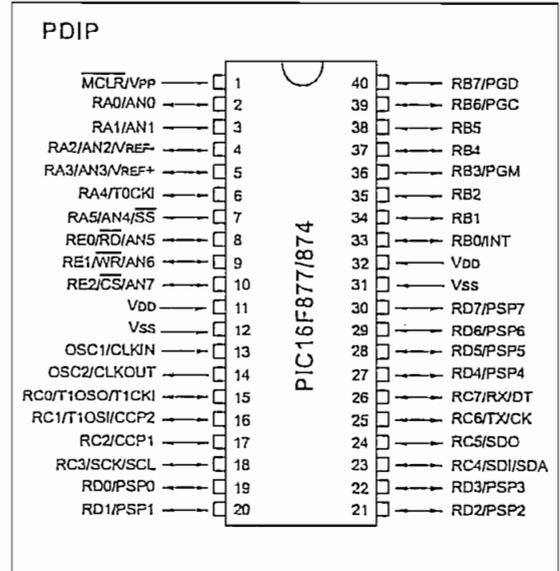
### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

### Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input  
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,  
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)  
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and  
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC  
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM  
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two  
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature  
ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

### Pin Diagram



### Peripheral Features:

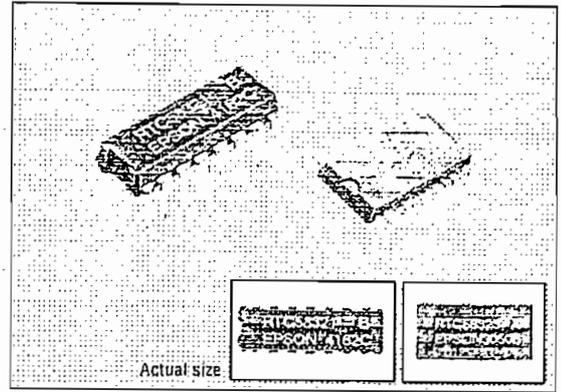
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,  
can be incremented during SLEEP via external  
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period  
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master  
mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver  
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address  
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with  
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for  
Brown-out Reset (BOR)

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz			
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions

# 4-bit I/O CONNECTION REAL TIME CLOCK MODULE

## RTC-58321/58323

- Built-in crystal unit allows adjustment-free efficient operation.
- Incorporating time counter (hour, minute, sec.) and calendar counter (year, month, day of week).
- Either 12 h or 24 h selectable and leap year automatically adjustable.
- Standard signal output selectable among a choice of 1024 Hz, 1 sec., 60 sec., and 1 hour.
- Provided with counter start, stop and reset functions.
- Data transmission is by 4-bit bidirectional bus line and memory read and write method.
- Low current consumption and backup function provided.



### Specifications (characteristics)

#### Absolute Max. rating

Item	Symbol	Condition	Specifications	Unit
Power source voltage	V <sub>DD</sub>	T <sub>a</sub> =+25 °C	-0.3 to 6.5	V
Input and output voltage	V <sub>IO</sub>		-0.3 to V <sub>DD</sub> +0.3	
Storage temperature	T <sub>STG</sub>	—	-55 to +85	°C
Soldering condition	T <sub>SOL</sub>	RTC-58321	Under +260 °C within 10 s (lead part) (package should be less than +150 °C)	
		RTC-58323	Twice at under +260 °C within 10 s or under +230 °C within 3 min.	

#### Operating range

Item	Symbol	Condition	Specifications	Unit
Operating voltage	V <sub>DD</sub>	—	4.5 to 5.5	V
Operating temperature	T <sub>OPR</sub>	RTC-58321	-10 to +70	°C
		RTC-58323	-30 to +85	
Data holding voltage	V <sub>DH</sub>	—	2.2 to 5.5	V
CS1 data holding time	t <sub>CDR</sub>	Refer to the data holding timing	0 Min.	μs
Operation restoring time	t <sub>R</sub>			

#### Frequency characteristics and current consumption characteristics

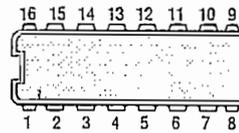
Item	Symbol	Condition	Specifications	Unit
Frequency tolerance	Δf/f <sub>0</sub>	T <sub>a</sub> =+25 °C V <sub>DD</sub> =5 V	58321 A	±10
			58321 B	±50
			58323	5±20
				× 10 <sup>-6</sup>
Frequency temperature characteristics	—	-10 °C to +70 °C (+25 °C reference temperature)	+10/-120	
Aging	f <sub>a</sub>	V <sub>DD</sub> =5 V, T <sub>a</sub> =+25 °C, first year	±5 Max.	× 10 <sup>4</sup> /year
Shock resistance	S.R.	Three drops on a hard board from 750 mm or 29.430 m/s <sup>2</sup> × 0.3 ms × 1/2 sine wave × 3 directions	±10 Max.	× 10 <sup>6</sup>
Current consumption	I <sub>DD1</sub>	V <sub>DD</sub> =5 V, CS1=0 V	40 Max.	μA
	I <sub>DD2</sub>	V <sub>DD</sub> =3 V, CS1=0 V	20 Max.	

#### DC characteristics

Item	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit	Applicable terminal
"H" input voltage	V <sub>IH1</sub>	—	3.6	—	—	V	Input other than CS1
"H" input voltage	V <sub>IH2</sub>		V <sub>DD</sub> -0.5				
"L" input voltage	V <sub>IL</sub>	I <sub>OL</sub> =1.6 mA	—	—	0.8		
"L" output voltage	V <sub>OL</sub>		V <sub>O</sub> =0.4 V	1.6	—		
"L" output current	I <sub>OL</sub>	V <sub>O</sub> =0.4 V	1.6	—	—	mA	
"H" input current	I <sub>IH</sub>	V <sub>I</sub> =5 V	10	30	80	μA	Input other than D <sub>0</sub> to D <sub>3</sub>
"L" input current	I <sub>IL</sub>	V <sub>I</sub> =0 V	—	—	-1		
Input leak current	I <sub>LEI</sub>	V <sub>I</sub> =5 V	—	—	1	μA	D <sub>0</sub> to D <sub>3</sub>
Input off leak current	I <sub>LOI</sub>	V <sub>I</sub> =0 V	—	—	-1		
Input capacity	C <sub>I</sub>	Input frequency 1 MHz	—	5	—	pF	
Oscillation start-up time	t <sub>OSC</sub>	V <sub>DD</sub> =5 V T <sub>a</sub> =+25 °C	—	1.5	3.0	s	Busy output

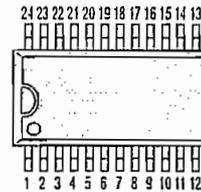
#### Terminal connection

##### RTC-58321



No.	58321	No.	58323
1	CS <sub>2</sub>	1 to 4	N.C
2	WRITE	5	CS <sub>2</sub>
3	READ	6	WRITE
4	D <sub>0</sub>	7	READ
5	D <sub>1</sub>	8	D <sub>0</sub>
6	D <sub>2</sub>	9	D <sub>1</sub>
7	D <sub>3</sub>	10	D <sub>2</sub>
8	GND	11	D <sub>3</sub>
9	ADDRESS WRITE	12	GND
10	BUSY	13	ADDRESS WRITE
11	STOP	14	BUSY
12	TEST	15	STOP
13	CS <sub>1</sub>	16	TEST
14 to 15	N.C	17	CS <sub>1</sub>
16	V <sub>DD</sub>	18 to 21	V <sub>DD</sub>

##### RTC-58323

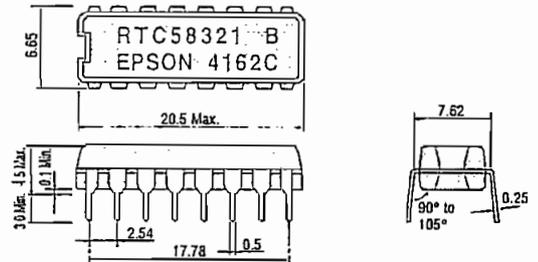


• NC is not connected internally.

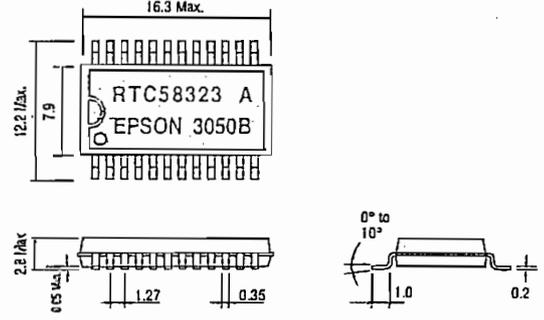
#### External dimensions

(Unit: mm)

##### RTC-58321



##### RTC-58323



Supplement

0= "L" level 1= "H" level

Item	Description																									
* mark	Writable. Recognized as 0 while in read mode																									
24/12	"1" =24 h mode, "0" =12 h mode																									
PM/AM	"1" =PM, "0" =AM. In 24 h mode, this will be "0"																									
D3 and D2 of 10 days digit	Used to select leap year. Calculated according to the surplus after dividing 10 year digit by 4 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Calendar</th> <th>D3</th> <th>D2</th> <th>Surplus after dividing 10 year digit by 4</th> <th>Example of leap year</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gregorian calendar</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>96, 00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Spare</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Calendar	D3	D2	Surplus after dividing 10 year digit by 4	Example of leap year	Gregorian calendar	0	0	0	96, 00		1	1	3		Spare	1	0	2			1	1	1	
Calendar	D3	D2	Surplus after dividing 10 year digit by 4	Example of leap year																						
Gregorian calendar	0	0	0	96, 00																						
	1	1	3																							
Spare	1	0	2																							
	1	1	1																							
Reset register	These selections are for resetting 5-stage and the busy circuit after 1/2 <sup>n</sup> frequency stage. Resetting is activated by latching this code on to the address latch and setting WRITE=H																									
Standard signal register	By latching this code to the address latch and setting READ to H, the standard signals will be output at D0 to D3																									

Note: • Do not enter erroneous data for clock.  
 • This may result in time keeping error.  
 • Do not change STOP more than once while in BUSY mode.

Switching characteristics

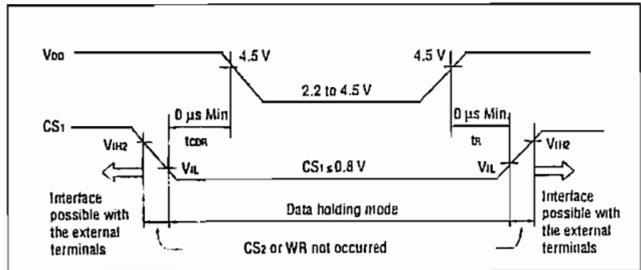
Write & read mode

(VDD=5 V±0.5 V)

Item	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
CS setup time	tCS		0			
Address setup time	tAS		0.5			
Address write pulse width	tAW		0.1			
Address hold time	tAH		0			
Data setup time	tDS		2			µs
Write pulse width	tWW		0			
Data hold time	tDH					
Read inhibit time	tRI				+1	
Read access time	tRA				1	
Read delay time	tDD					
CS hold time	tCH		0			

\*1  $t_{RA} = 1 \mu s + C \times R \times \ln [V_{DD}/(V_{DD}-V_H)]$  C: Data line capacity  
 R: Pull-up resistance  
 V<sub>H</sub>: "H" Input voltage connected to the data line  
 ln: Natural logarithm

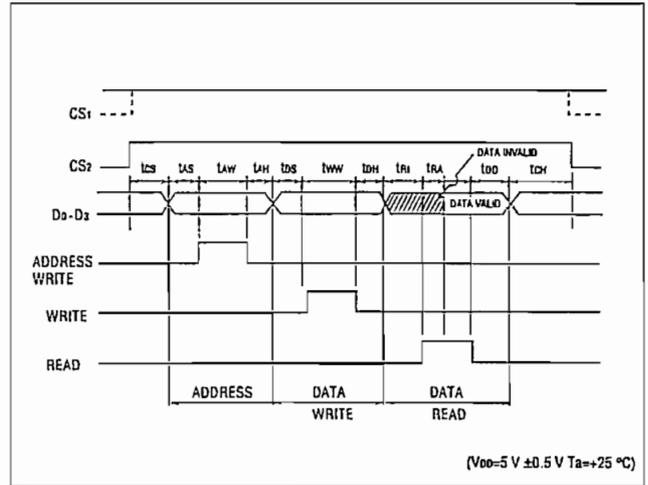
Date holding timing



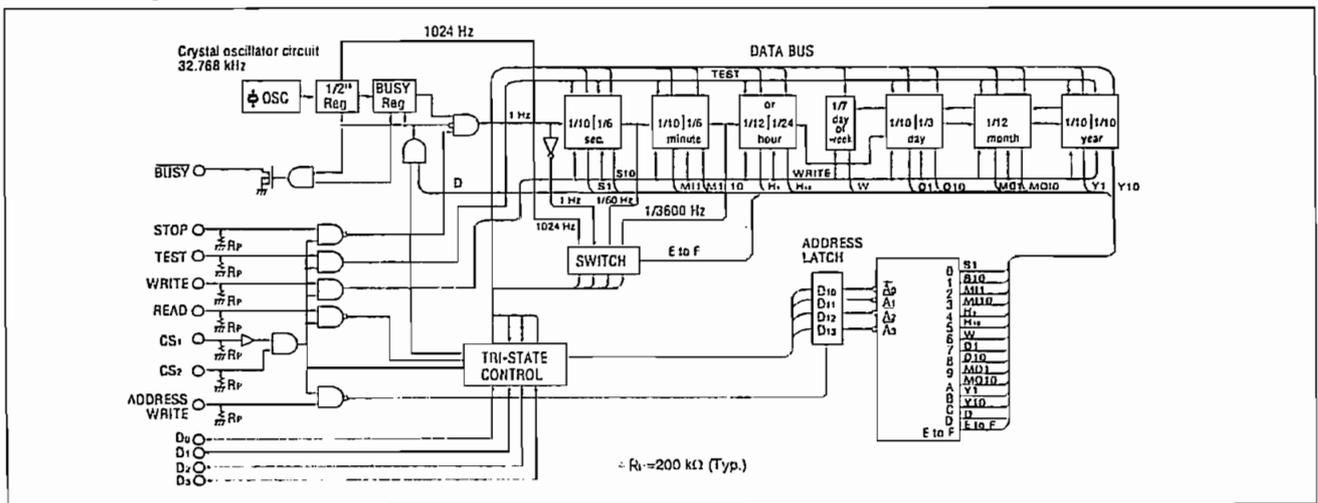
Register table

Address	D3	D2	D1	D0	Name of register	D3	D2	D1	D0	Count	Note
0	0	0	0	0	Sr	S8	S4	S2	S1	0 to 9	1- sec. digit register
1	0	0	0	1	S10	S40	S20	S10		0 to 5	10- sec. digit register
2	0	0	1	0	M1	m18	m12	m11		0 to 9	1- min. digit register
3	0	0	1	1	M10	m10	m10	m10		0 to 5	10- min. digit register
4	0	1	0	0	H1	h8	h4	h2	h1	0 to 9	1- hour digit register
5	0	1	0	1	H10	24/12	PM/AM	h20	h10	0 to 2 or 0 to 1	10- hour digit register
6	0	1	1	0	W	W2	W2	W1		0 to 6	Week register
7	0	1	1	1	D1	d8	d4	d2	d1	0 to 9	1- day digit register
8	1	0	0	0	D10	Leap year selection	d20	d10		0 to 3	10- day digit register
9	1	0	0	1	M0	m08	m04	m02	m01	0 to 9	1- month digit register
A	1	0	0	0	M010				m010	0 to 1	10- month digit register
B	1	0	1	1	Y1	y8	y4	y2	y1	0 to 9	1- year digit register
C	1	1	0	0	Y10	y80	y40	y20	y10	0 to 9	10- year digit register
D	1	1	0	1							Reset register
E	1	1	1	0		1 hour	1 min.	1 sec.	1024 Hz		Standard signal register
F	1	1	1	1							

Write and read timing



Block diagram





# Octal High Voltage, High Current Darlington Transistor Arrays

The eight NPN Darlington connected transistors in this family of arrays are ideally suited for interfacing between low logic level digital circuitry (such as TTL, CMOS or PMOS/NMOS) and the higher current/voltage requirements of lamps, relays, printer hammers or other similar loads for a broad range of computer, industrial, and consumer applications. All devices feature open-collector outputs and free wheeling clamp diodes for transient suppression.

The ULN2803 is designed to be compatible with standard TTL families while the ULN2804 is optimized for 6 to 15 volt high level CMOS or PMOS.

Order this document by ULN2803/D

**ULN2803  
ULN2804**

**OCTAL PERIPHERAL  
DRIVER ARRAYS**

**SEMICONDUCTOR  
TECHNICAL DATA**

MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  and rating apply to any one device in the package, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Output Voltage	$V_O$	50	V
Input Voltage (Except ULN2801)	$V_I$	.30	V
Collector Current – Continuous	$I_C$	500	mA
Base Current – Continuous	$I_B$	25	mA
Operating Ambient Temperature Range	$T_A$	0 to +70	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Junction Temperature	$T_J$	125	$^\circ\text{C}$

$R_{\theta JA} = 55^\circ\text{C/W}$   
Do not exceed maximum current limit per driver.

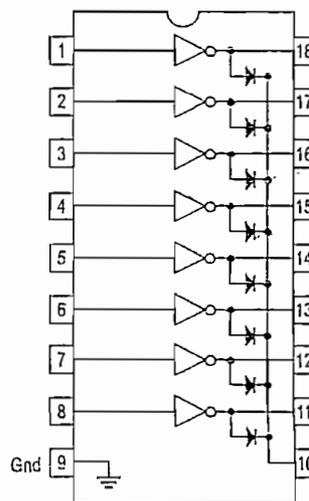
### ORDERING INFORMATION

Device	Characteristics		
	Input Compatibility	$V_{CE}(\text{Max})/I_C(\text{Max})$	Operating Temperature Range
ULN2803A	TTL, 5.0 V CMOS	50 V/500 mA	$T_A = 0$ to +70 $^\circ\text{C}$
ULN2804A	6 to 15 V CMOS, PMOS		



A SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 707

### PIN CONNECTIONS



## ULN2803 ULN2804

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Leakage Current (Figure 1) ( $V_O = 50\text{ V}$ , $T_A = +70^\circ\text{C}$ ) ( $V_O = 50\text{ V}$ , $T_A = +25^\circ\text{C}$ ) ( $V_O = 50\text{ V}$ , $T_A = +70^\circ\text{C}$ , $V_I = 6.0\text{ V}$ ) ( $V_O = 50\text{ V}$ , $T_A = +70^\circ\text{C}$ , $V_I = 1.0\text{ V}$ )	All Types All Types ULN2802 ULN2804	$I_{CEX}$	- - - -	- - - -	100 50 500 500	$\mu\text{A}$
Collector-Emitter Saturation Voltage (Figure 2) ( $I_C = 350\text{ mA}$ , $I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$ ) ( $I_C = 200\text{ mA}$ , $I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$ ) ( $I_C = 100\text{ mA}$ , $I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$ )	All Types All Types All Types	$V_{CE(sat)}$	- - -	1.1 0.95 0.85	1.6 1.3 1.1	V
Input Current – On Condition (Figure 4) ( $V_I = 17\text{ V}$ ) ( $V_I = 3.85\text{ V}$ ) ( $V_I = 5.0\text{ V}$ ) ( $V_I = 12\text{ V}$ )	ULN2802 ULN2803 ULN2804 ULN2804	$I_{I(on)}$	- - - -	0.82 0.93 0.35 1.0	1.25 1.35 0.5 1.45	mA
Input Voltage – On Condition (Figure 5) ( $V_{CE} = 2.0\text{ V}$ , $I_C = 300\text{ mA}$ ) ( $V_{CE} = 2.0\text{ V}$ , $I_C = 200\text{ mA}$ ) ( $V_{CE} = 2.0\text{ V}$ , $I_C = 250\text{ mA}$ ) ( $V_{CE} = 2.0\text{ V}$ , $I_C = 300\text{ mA}$ ) ( $V_{CE} = 2.0\text{ V}$ , $I_C = 125\text{ mA}$ ) ( $V_{CE} = 2.0\text{ V}$ , $I_C = 200\text{ mA}$ ) ( $V_{CE} = 2.0\text{ V}$ , $I_C = 275\text{ mA}$ ) ( $V_{CE} = 2.0\text{ V}$ , $I_C = 350\text{ mA}$ )	ULN2802 ULN2803 ULN2803 ULN2803 ULN2804 ULN2804 ULN2804 ULN2804	$V_{I(on)}$	- - - - - - - -	- - - - - - - -	13 2.4 2.7 3.0 5.0 6.0 7.0 8.0	V
Input Current – Off Condition (Figure 3) ( $I_C = 500\text{ }\mu\text{A}$ , $T_A = +70^\circ\text{C}$ )	All Types	$I_{I(off)}$	50	100	-	$\mu\text{A}$
DC Current Gain (Figure 2) ( $V_{CE} = 2.0\text{ V}$ , $I_C = 350\text{ mA}$ )	ULN2801	$h_{FE}$	1000	-	-	-
Input Capacitance		$C_I$	-	15	25	pF
Turn-On Delay Time (50% $E_I$ to 50% $E_O$ )		$t_{on}$	-	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Turn-Off Delay Time (50% $E_I$ to 50% $E_O$ )		$t_{off}$	-	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Clamp Diode Leakage Current (Figure 6) ( $V_R = 50\text{ V}$ )	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = +70^\circ\text{C}$	$I_R$	-	-	50 100	$\mu\text{A}$
Clamp Diode Forward Voltage (Figure 7) ( $I_F = 350\text{ mA}$ )		$V_F$	-	1.5	2.0	V

4N25  
4N37

4N26  
H11A1

4N27  
H11A2

4N28  
H11A3

4N35  
H11A4

4N36  
H11A5

**DESCRIPTION**

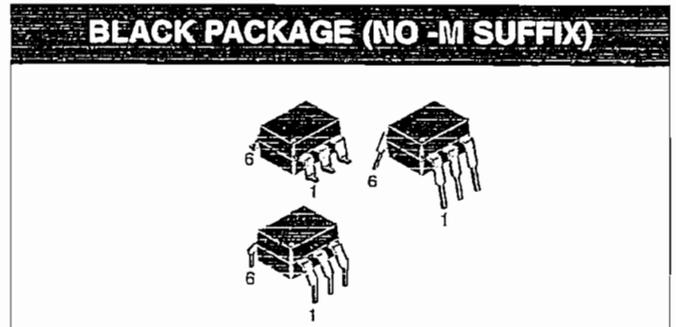
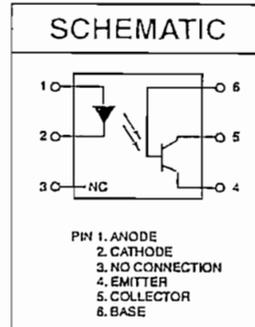
The general purpose optocouplers consist of a gallium arsenide infrared emitting diode driving a silicon phototransistor in a 6-pin dual in-line package.

**FEATURES**

- UL recognized (File # E90700)
- VDE recognized (File # 94766)
  - Add option V for white package (e.g., 4N25V-M)
  - Add option 300 for black package (e.g., 4N25.300)
- Also available in white package by specifying -M suffix, eg. 4N25-M except H11A2, H11A4 and H11A5

**APPLICATIONS**

- Power supply regulators
- Digital logic inputs
- Microprocessor inputs



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Value	Units
<b>TOTAL DEVICE</b>			
Storage Temperature	$T_{STG}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	$T_{OPR}$	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature	$T_{SOL}$	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	250 3.3 (non-M), 2.94 (-M)	mW
<b>EMITTER</b>			
DC/Average Forward Input Current	$I_F$	100 (non-M), 60 (-M)	mA
Reverse Input Voltage	$V_R$	6	V
Forward Current - Peak (300 $\mu\text{s}$ , 2% Duty Cycle)	$I_{F(pk)}$	3	A
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	150 (non-M), 120 (-M) 2.0 (non-M), 1.41 (-M)	mW mW/ $^\circ\text{C}$
<b>DETECTOR</b>			
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	30	V
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	70	V
Emitter-Collector Voltage	$V_{ECO}$	7	V
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	150 2.0 (non-M), 1.76 (-M)	mW mW/ $^\circ\text{C}$

4N25 4N37	4N26 H11A1	4N27 H11A2	4N28 H11A3	4N35 H11A4	4N36 H11A5
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  Unless otherwise specified.)

**INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS**

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Unit
<b>EMITTER</b>						
Input Forward Voltage	( $I_F = 10\text{ mA}$ )	$V_F$		1.18	1.50	V
Reverse Leakage Current	( $V_R = 6.0\text{ V}$ )	$I_R$		0.001	10	$\mu\text{A}$
<b>DETECTOR</b>						
Collector-Emitter Breakdown Voltage	( $I_C = 1.0\text{ mA}$ , $I_F = 0$ )	$BV_{CEO}$	30	100		V
Collector-Base Breakdown Voltage	( $I_C = 100\ \mu\text{A}$ , $I_F = 0$ )	$BV_{CBO}$	70	120		V
Emitter-Collector Breakdown Voltage	( $I_E = 100\ \mu\text{A}$ , $I_F = 0$ )	$BV_{ECO}$	7	10		V
Collector-Emitter Dark Current	( $V_{CE} = 10\text{ V}$ , $I_F = 0$ )	$I_{CEO}$		1	50	nA
Collector-Base Dark Current	( $V_{CB} = 10\text{ V}$ )	$I_{CBO}$			20	nA
Capacitance	( $V_{CE} = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ )	$C_{CE}$		8		pF

**ISOLATION CHARACTERISTICS**

Characteristic	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Units
Input-Output Isolation Voltage	(Non-'M', Black Package) ( $f = 60\text{ Hz}$ , $t = 1\text{ min}$ )	$V_{ISO}$	5300			Vac(rms)*
	('-M', White Package) ( $f = 60\text{ Hz}$ , $t = 1\text{ sec}$ )		7500			Vac(pk)
Isolation Resistance	( $V_{I-O} = 500\text{ VDC}$ )	$R_{ISO}$	$10^{11}$			$\Omega$
Isolation Capacitance	( $V_{I-O} = \emptyset$ , $f = 1\text{ MHz}$ )	$C_{ISO}$		0.5		pF
	('-M' White Package)			0.2	2	pF

Note  
 \* 5300 Vac(rms) for 1 minute equates to approximately 9000 Vac (pk) for 1 second  
 \*\* Typical values at  $T_A = 25^\circ\text{C}$

ANEXO B

MANUAL DEL USUARIO

# INDICE

	<i>Pág.</i>
1	ESPECIFICACIONES ..... 03
2	INSTALACIÓN ..... 03
2.1	Instalación Física ..... 03
2.2	Conexionado Eléctrico ..... 03
2.2.1	Procedimiento ..... 04
3	PROGRAMACIÓN E INSTRUCCIONES DE USO ..... 05
3.1	Descripción del teclado ..... 05
3.2	Ventanas de programación ..... 06
3.2.1	Ajuste de tiempo ..... 06
3.2.2	Test ..... 07
3.2.2.1	Test del sensor ..... 07
3.2.2.2	Test de las válvulas ..... 08
3.2.3	Calibración de hidrómetro ..... 09
3.2.4	Programar riego ..... 10
3.2.4.1	Riego emergente ..... 11
3.2.4.2	Riego automático ..... 11
3.2.4.2.1	Ingreso del modo y días de riego ..... 11
3.2.4.2.2	Ingreso de la hora de arranque, hora de parada y tiempo o volumen de riego ..... 12
3.2.4.2.3	Ingreso del tiempo cada cuando se ejecutara el riego (periodo) ..... 13
3.2.4.2.4	Confirmación de parámetros ..... 14
3.2.4.2.5	Ejecución de riego ..... 15
3.2.4.2.6	Opción stop ..... 15
4	INSTALACIÓN DE LA BOMBA ..... 16

## 1 ESPECIFICACIONES

- Opera 8 estaciones + válvula principal.
- Programa independiente para cada válvula.
- Tres tipos de programa para cada estación : semanal cíclica y windows o con ventana horaria.
- La hora de inicio de riego puede ser establecida para cada válvula.
- Ciclos desde cada 1 minuto a 12 meses por estación.
- Una estación + válvula principal pueden operar simultáneamente. El resto de válvulas actuarán en secuencia.
- Una entrada de sensor normalmente abierta.
- Cualquier válvula puede ser controlada por el sensor.
- Una batería de níquel metal recargable de 9 V. Mantiene en memoria el calendario, la hora del reloj y los programas a la vez que permite la programación mientras el Temporizador está desconectado a la red.

## 2 INSTALACIÓN

### 2.1 Instalación Física

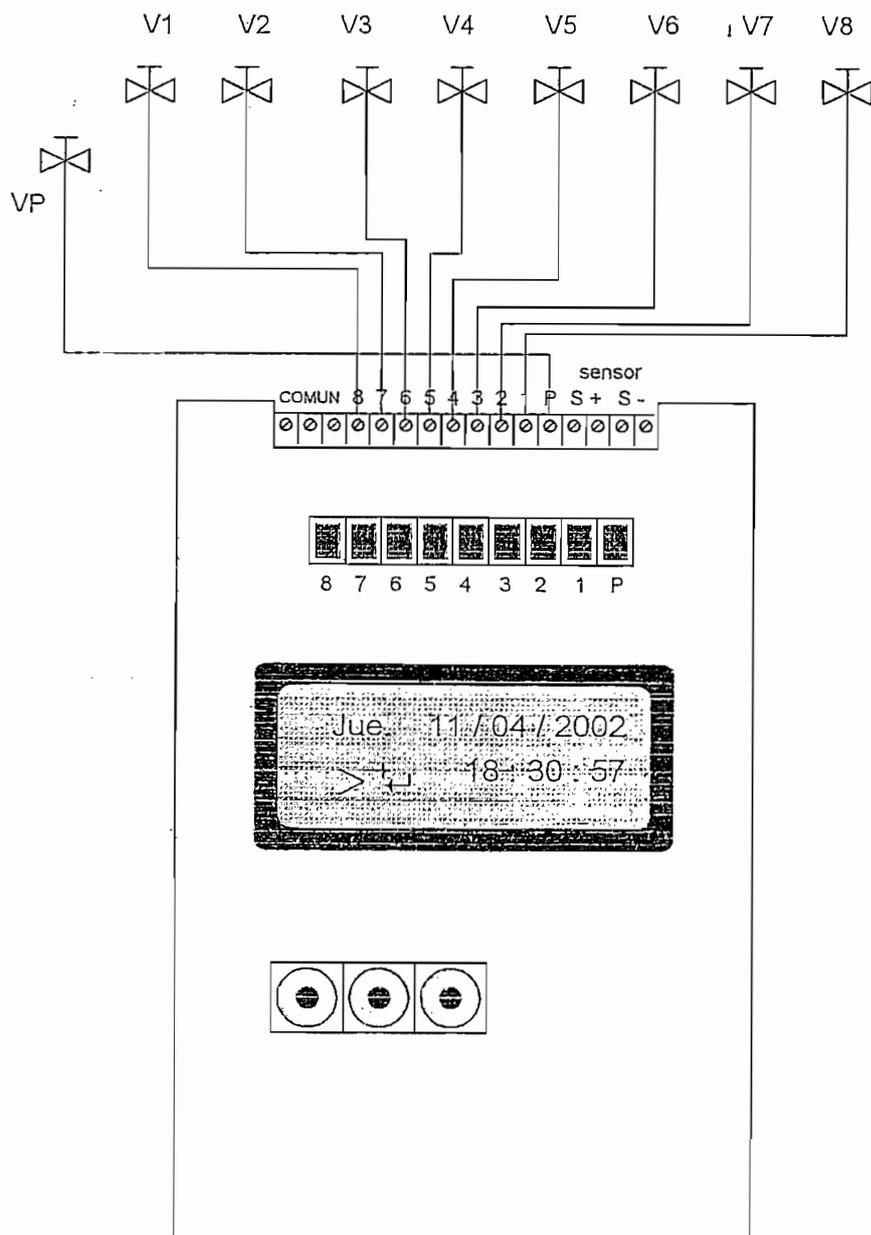
- El programador está diseñado para su instalación en caseta protegido de la lluvia, los aspersores y la humedad.
- Fije el programador a un panel o la pared.

### 2.2 Conexionado Eléctrico

- El programador ha de ser conectado a la red sólo cuando se hayan acabado de conectar los cables de las válvulas y los sensores.

### 2.2.1 Procedimiento

- I Conectar los cables de las válvulas; uno al común (*COMUN*) y el otro en la salida correspondiente al número de válvula (la regleta de conexiones está dotada de dos comunes) tal como se describe en la *Fig. No.1*.
- II Solo una válvula puede ser conectada a cada estación.
- III Si se utiliza una bomba, conectar la estación principal (*P*) a un relé de 24 VAC. No conectar la bomba directamente al programador.



*Fig. No. 1 Instalación Eléctrica*

### 3 PROGRAMACIÓN

- La programación se realiza mediante dos periféricos: un teclado compuesto de tres pulsadores para el ingreso de datos y un display de cristal líquido para visualizar parámetros de programación.

#### 3.1 Descripción del Teclado

- Constantemente en la parte inferior izquierda del display de cristal líquido se visualiza la simbología de cada tecla en tres posiciones equivalentes a las teclas 1, 2 y 3 respectivamente como lo indica la Fig. No.2. La significación y función de cada tecla dependiendo la simbología visualizada es la siguiente:

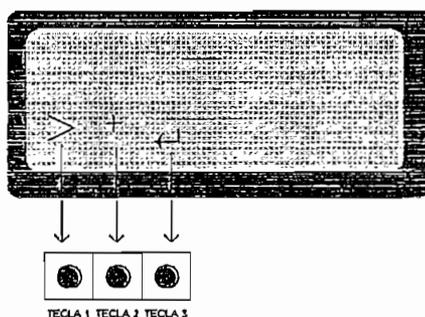


Fig. No.2 Equivalente Teclado - LCD

SÍMBOLO	NOMBRE	FUNCIÓN
>	ADELANTE	Cambio de ventana (ir a la siguiente) Incremento de la posición del cursor
↵	ENTER	Entra o sale dependiendo de la ventana de programación en donde se encuentre
+	MAS	Incremento el valor del parámetro
STOP	STOP	Detener el riego

Tabla No.1 Simbología y Función del Teclado

- La tecla relacionada con el símbolo “>” sirve para desplazarse dentro de las opciones mostradas en pantalla. La tecla relacionada con el símbolo “+” sirve para incrementar el valor del parámetro visualizado.

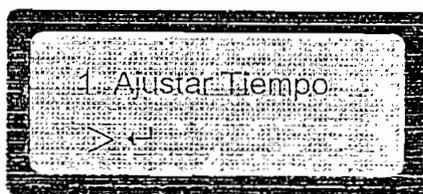
- Cada válvula tiene un programa totalmente independiente, por lo tanto los pasos de programación se han de realizar para cada válvula separadamente.

## 3.2 VENTANAS DE PROGRAMACION

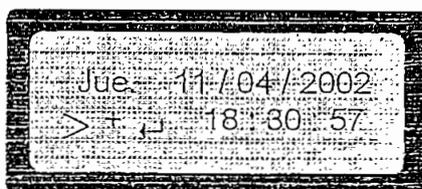
### 3.2.1 AJUSTE DE TIEMPO

La primera ventana de programación vista por el usuario se la ha denominado ajuste de tiempo y se visualiza en el LCD como lo indica la *Fig. No.3*. Al presionar la *tecla 1* se pasa a la segunda ventana de programación (*Fig. No.5*) o al presionar la *tecla 2* (entrar) se accede al menú de reloj y calendario (estado del RTC) como se indica en la *Fig. No. 4*.

Una vez dentro de la sub-ventana indicada en la *Fig. No.4* el cursor parpadea; con la *tecla 1* se posiciona el cursor en el valor que se quiere cambiar, sea este el día de la semana, la fecha o el reloj, la *tecla-2* incrementa el valor y con la *tecla 3* se guarda los últimos cambios efectuados saliendo automáticamente al menú de entrada que es la primera ventana de programación (*Fig. No.3*).



*Fig. No.3 Primera Ventana de Programación*



*Fig. No. 4 Visualización y Ajuste de Tiempo*

### 3.2.2 TEST

La segunda ventana de programación esta referida a Test que se hace a las válvulas auxiliares, válvula principal, y al hidrómetro. Antes de acceder a una de las opciones de Test, el Temporizador visualiza en el LCD la ventana en la que está trabajando como lo indica la *Fig. No. 5*.



*Fig. No.5 Segunda Ventana de Programación*

La *tecla 1* dará paso a la siguiente ventana de programación (*Fig. No.12*), la *tecla 2* permite el ingreso a las sub-ventanas Test Sensor y Test Válvulas como lo indican las *Figs. No.6 y 7* respectivamente.



*Fig. No.6 Sub-ventana de Programación (test sensor)*

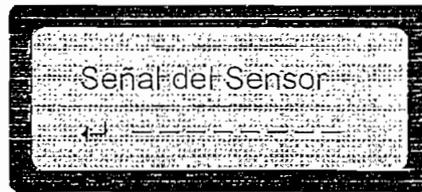


*Fig. No.7 Sub-ventana de Programación (test válvulas)*

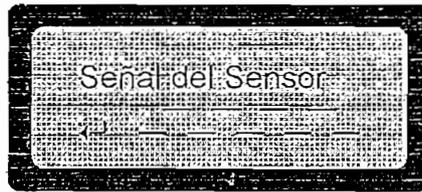
#### 3.2.2.1 TEST DEL SENSOR

Una vez dentro de la sub-ventana TEST SENSOR (*Fig. No.6*), al presionar la *tecla 1* entra a chequear el valor que llega del sensor, el Temporizado imprime en el LCD una señal de onda cuadrada, siendo los picos los indicativos de que la señal

del sensor esta siendo recibida por el Temporizador como lo indican las *Figs. No.8 y 9* respectivamente.



*Fig. No.8 No hay Señal Proveniente del Sensor*

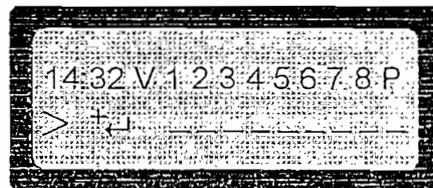


*Fig. No.9 Señal Proveniente del Sensor*

### 3.2.2.2 TEST DE LAS VÁLVULAS

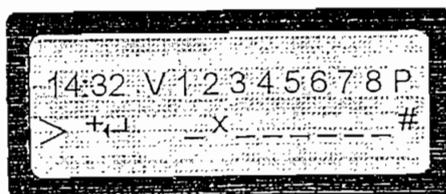
Una vez dentro de la sub-ventana TEST VÁLVULAS (*Fig. No.7*), al presionar la *tecla 1* se entra a chequear el funcionamiento de las válvulas.

El menú a desplazarse es el indicado en la *Fig. No.10*, con el cursor se posiciona la válvula que se desea abrir, con la *tecla 2* se abre la válvula y con la *tecla 3* se sale de esta ventana saltando a la ventana anterior (*Fig. No.7*).



*Fig. No.10 Test Válvulas (ninguna válvula activada)*

Con la *tecla 1* se ubica el cursor en la 2da posición de la segunda fila (válvula 2), con la *tecla 2* se activa la válvula, entonces se obtiene una visualización como la indicada en la *Fig. No.11* y además si el conexionado, la válvula 2 y la principal están en perfecto estado se procederá a regar.



*Fig. No.11 Test Válvulas (válvula 2 y principal activadas)*

La restricción de no activar más de una válvulas a la vez está perfectamente establecida, si el usuario quiere activar más de dos válvulas el temporizador no le permite.

Esta ventana permite hacer riego manual, para visualizar el tiempo de riego se imprime en la parte superior izquierda la hora actual.

### 3.2.3 CALIBRACIÓN DE HIDROMETRO

La siguiente ventana de programación está diseñada para calibrar el equipo para manejo de hidrómetro.

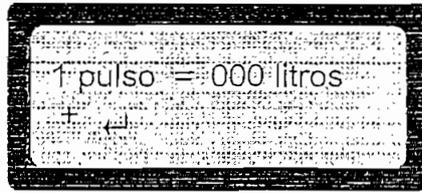
Al igual que las ventanas anteriores el menú de ingreso es presentado en el LCD como se lo indica en la *Fig. No.12*.



*Fig. No.12 Tercera Ventana de Programación (calibrar hidrómetro)*

La *tecla 2* permite calibrar el equivalente de los litros regados con los pulsos recibidos o generados por el medidor de líquido o hidrómetro, la *tecla 1* da paso a la cuarta ventana de programación (*Fig. No.13*).

Para calibrar el hidrómetro simplemente se incrementa (*tecla 1*) el valor de los litros equivalentes, este valor varía de 0 a 100 como se indica a continuación:



*Fig. No. 13 Programación Equivalencia Pulsos - Litros*

### 3.2.4 PROGRAMAR RIEGO

La ventana que da acceso a la programación y ejecución de riego es la mostrada en la *Fig. No.14*, una vez que se ha ingresado a la ventana siguiente se puede apreciar que se ha dividido en dos sub-ventanas indicadas en las *Figs. No.15 y 16*, estas son:

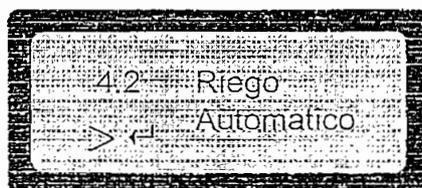
- Riego Emergente
- Riego Automático



*Fig. No.14 Cuarta Ventana de Programación*



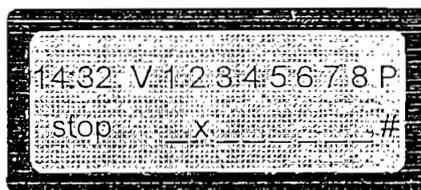
*Fig. No.15 Sub-ventana Riego Emergente*



*Fig. No.16 Sub-ventana Riego Automático*

### 3.2.4.2 RIEGO EMERGENTE

El riego emergente consiste en programar el cierre – apertura de válvulas en modo secuencial un tiempo de duración o riego de 10 minutos cada válvula, el usuario solo tiene la opción de desactivar este modo de riego a partir de la *tecla 1* (STOP) como lo indica la *Fig. No.17* retornando al menú anterior (*Fig. No.15*).



*Fig. No.17 Ejecución de Riego Emergente*

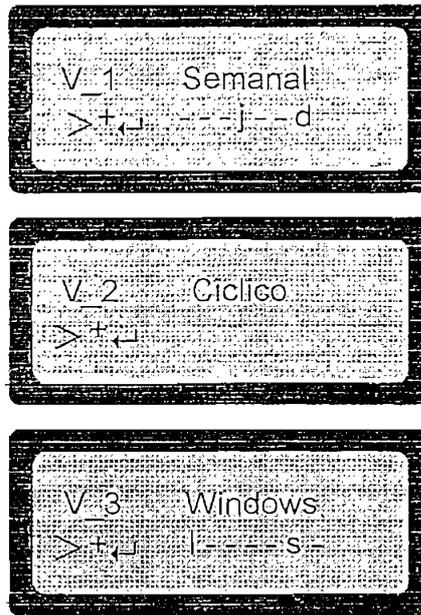
El display visualiza la hora actual, la válvula que está activa, y la opción STOP (*tecla 1*) para detener el riego y enviarme al menú anterior (Figura No. 3.33); la salida a la válvula principal P siempre permanece activa ya que no hay paros mientras se cambia de una válvula a otra.

### 3.2.4.3 RIEGO AUTOMÁTICO

La ventana que da acceso a la programación de riego automático es la indicada en la *Fig. No.16*; el programa necesita parámetros y valores antes de efectuar el riego, para ello el programa se lo divide en los siguientes submenús:

#### 3.2.4.3.3 INGRESO DEL MODO Y DÍAS DE RIEGO

La siguiente ventana o submenú permite ingresar el modo de riego pudiendo ser este semanal, cíclico o windows como lo indica la *Fig. No.18*, el cursor se posiciona en la válvula pudiendo variar de la 1 a la 8; en el modo de riego, y para modos de riego semanal y windows los días que se va a proceder a regar (de lunes a domingo).



*Fig. No.18 Programación del Modo de Riego*

#### 3.2.4.3.4 INGRESO DE LA HORA DE ARRANQUE , HORA DE PARADA Y TIEMPO O VOLUMEN DE RIEGO

Si una o más válvulas fueron programadas en modo semanal, el siguiente submenú da la opción de programar 5 horas de arranque de riego, el tiempo (máximo una hora) o el volumen (máximo 99 litros) de riego para cada una de ellas; si fueron programadas en modo cíclico, el programa da acceso a una hora de arranque y el tiempo o volumen de duración riego; si fueron programadas en modo windows, el programa permite ingresar la hora de arranque (desde), la hora de parada (hasta) y el tiempo o volumen de riego; esta programación es expuesta en la *Fig. No.19*. Para recordar el modo de programación elegido en el submenú anterior, el LCD visualiza al lado de la válvula el modo de riego programado por ejemplo: V\_1S = válvula 1 modo de riego semanal.



*Fig. No.19 Programación de la Hora de Inicio, Fin y Tiempo o Volumen de Riego*

### 3.2.4.3.5 INGRESO DEL TIEMPO CADA CUANDO SE EJECUTARA EL RIEGO (PERIODO)

Si para cualquier válvula el modo de riego es semanal, el riego se ejecutará semanalmente y el usuario no tiene acceso a cambiar esta condición; si el modo de riego es cíclico o windows hace falta completar el PERIODO de riego, para esto el programa permite ingresar el tiempo cada cuanto se repetirá el riego nuevamente (para mayor entendimiento referirse a las *Figs. No.18 y 19*); al igual que el submenú anterior, para recordar el modo de programación elegido, el LCD visualiza al lado de la válvula el modo de riego programado por ejemplo: V\_2C = válvula 2 modo de riego cíclico.

El ingreso del tiempo de cada cuanto se ejecutará el riego cuya explicación se la expuso anteriormente, se lo representa gráficamente en la *Fig. No.20*.

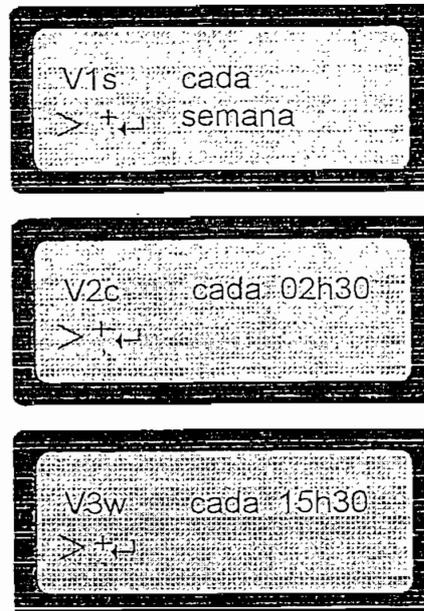


Fig. No.20 Programación "Tiempo Cada" o repetición de Riego

### 3.2.4.3.6 CONFIRMACIÓN DE PARÁMETROS

En esta parte, el programa pone a disposición del usuario dos opciones:

- Regar?. Si se tiene seguridad de que los parámetros ingresados antes están correctos se procede a regar en modo automático.
  - Si : El programador procederá a regar
  - No: Permite salir de esta parte del programa y se sitúa en el menú principal (Ítem No.3.2.4).

La visualización de la confirmación de parámetros se la puede ver en la Fig. No. 21.

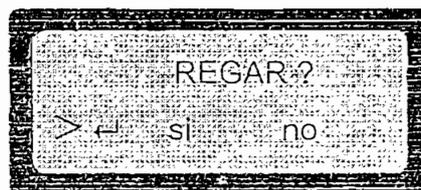


Fig. No. 21 Confirmación de Parámetros

### 3.2.4.3.7 EJECUCIÓN DE RIEGO

Si se decide proceder a regar el Temporizador chequea constantemente el modo de riego para cada válvula, las horas de arranque, abre las válvulas el tiempo o volumen establecido, detiene el riego, calcula la siguiente hora de riego y en general ejecuta las tareas encomendadas por el usuario. La única restricción que presenta el sistema es que no puede activar más de una válvula a la vez para evitar caídas de presión, por ello se recomienda al usuario hacer una programación sin choques de tiempo o volumen de riego, sin embargo el Temporizador no abrirá más de una válvula a si se haya programado la apertura para dos o más válvulas.

En la ventana de ejecución de riego se visualiza la hora actual, la válvula que está activa, y una opción STOP que se la describe más adelante.

La ventana de ejecución de riego se la muestra en la *Fig. No.22*.



*Fig. No. 22 Ejecución de Riego Automático*

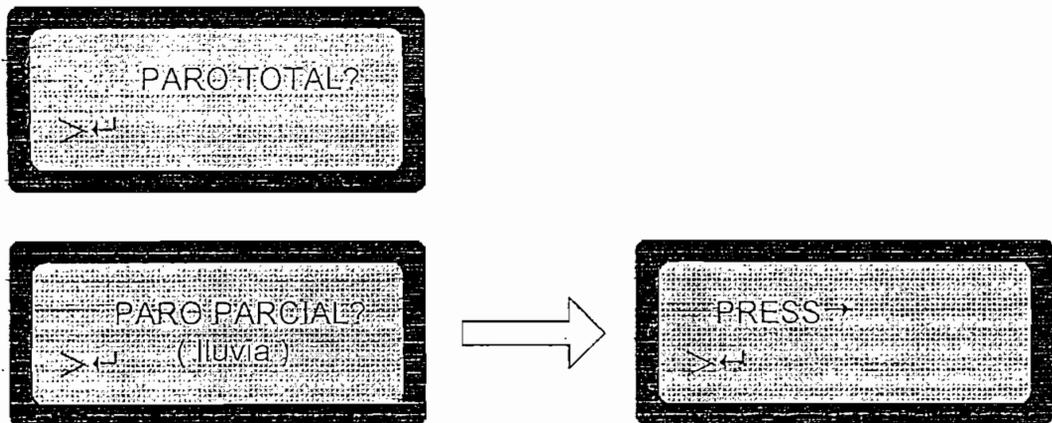
### 3.2.4.3.8 OPCIÓN STOP

El Temporizador visualiza y ejecuta dos maneras de suspender el riego:

- **Paro Total.** Se desactiva cualquier válvula que haya estado funcionando y se regresa al menú principal (*Ítem No. 3.2.4*).

- **Paro Parcial.** Llamada también opción "LLUVIA", suspende parcialmente el riego, se detiene en un lazo infinito detenido únicamente por el usuario para que después de salir de él se continúe regando el tiempo o volumen restante.

Las ventanas de la opción STOP se las presenta a continuación:



*Fig. No. 23 Opciones "STOP"*

#### 4 INSTALACIÓN DE LA BOMBA

El arranque de la bomba se realiza mediante un relé conectado al común (COMÚN) y a la salida de la bomba o válvula principal (P). **NO INTENTE CONECTAR LA BOMBA DIRECTAMENTE AL PROGRAMADOR.** El correcto conexionado se lo presenta en la *Fig. No.24.*