

**AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE
FLORES TIPO EXPORTACIÓN**

TRG 0522

RODOLFO AGUDELO DUEÑAS
DAYANNA CASTELLANOS GIOVANINI
MAURICIO MEDINA CRUZ

DIRECTOR: ING. FRANCISCO VIVEROS MORENO

BOGOTA D.C.
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

**AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE
FLORES TIPO EXPORTACIÓN.**

RODOLFO AGUDELO DUEÑAS
DAYANNA CASTELLANOS GIOVANINI
MAURICIO MEDINA CRUZ

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Director
Ing. FRANCISCO VIVEROS

BOGOTÁ D.C
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

RECTOR MAGNÍFICO: R.P. GERARDO REMOLINA S.J.

DECANO DEL MEDIO UNIVERSITARIO: R.P. ANTONIO JOSÉ SARMIENTO
S.J.

DIRECTOR DE CARRERA: Ing. JUAN CARLOS GIRALDO CARVAJAL.

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO: Ing. FRANCISCO VIVEROS MORENO.

Artículo 23 de la resolución número 13 del mes de julio de 1946.

“La universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado.

Solo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque los trabajos no contengan ataques o polémicas puramente personales.

Antes bien, que se vea en ellos el anhelo de buscar la verdad y la justicia.”

AGRADECIMIENTOS

Estoy seguro que no me habría sido posible realizar este trabajo sin el incondicional apoyo recibido por el Ingeniero Francisco Viveros, muchas gracias por todos sus consejos y sus sabias palabras.

La totalidad de este trabajo está dedicado a mis verdaderos amigos, aquellos que estuvieron conmigo durante el transcurso del mismo de un modo u otro. José Alejandro, Carlos Fernando, Germancito, Ilse, Natalia Eugenia, Carlos Mauricio "el Cachi", Mario Fernando "El Curly", Reinel Mauricio "El Pablito", Camilo "el Muña", Pedro, Juan Carlos "El CJ", Ricardo "El Richie", Camilo "Camilín" y Marroju. Mis amigos de Cali: Muelarica, el Puyas, el Viejo, el Negro, el Cabezadelulo, Pipe, Alejo, Leo y el Jhonny: Al fin terminé. Mi segunda familia, don Plinio, doña Gloria, Ale e Isis. Finalmente, mis padres, mis hermanos, mis abuelos Chalo y Chala y mi hermosa linda Johis. Esto es por ustedes. Last but not least, mi Ne & MAC.

*Rodolfo Agudelo Dueñas
14 de junio de 2005*

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Ing. Francisco Viveros por su apoyo incondicional, su tiempo y dedicación en la realización de este Trabajo de Grado.

A Caliche y todos los del laboratorio por sacarnos de problemas y facilitarnos todo lo que necesitábamos.

A Claudia Runza y Gloria Pradilla, por revivir la esperanza y darnos su apoyo.

A nuestros amigos José Martínez, Carlos Escobar y Germán Téllez por sacarnos una sonrisa con sus chistes .

Y a todas aquellas personas que nos enviaban sus energías positivas.

**Rodolfo Agudelo Dueñas
Dayanna Castellanos Giovanini
Mauricio Medina Cruz**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. MARCO TEORICO	12
1.1. MODELO OSI	12
1.2. PROTOCOLO RS-232.....	14
2. DESCRIPCIÓN GENERAL	16
2.1. ESPECIFICACIONES GENERALES.....	18
2.2. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE	19
2.2.1. <i>MÓDULO DE CONTROL</i>	19
2.2.1.1. Microcontrolador	19
2.2.1.2. RTC (Real Time Clock)	20
2.2.1.3. Salidas Tipo Relé	23
2.2.1.4. Salidas Digitales De Supervisión.....	25
2.2.1.5. Entrada Análoga.....	26
2.2.1.6. Módulo De Comunicación	27
2.2.1.7. Fuente De Voltaje.....	28
2.2.2. <i>ESTACIÓN REMOTA</i>	28
2.2.2.1. Módulo De Software	29
2.2.2.2. Conversor De Voltaje	29
2.2.2.3. Microcontrolador	30
2.3. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE.....	31
2.3.1. <i>ESTACIÓN REMOTA</i>	31
2.3.1.1. Menú Principal.....	32
2.3.1.2. Comunicación con el puerto Serial COM.....	32
2.3.1.3. Seguridad de Acceso y Privilegios	32
2.3.3. <i>MODIFICADOR</i>	35
2.3.4. <i>CONTROL</i>	35
2.3.5. <i>SUPERVISIÓN</i>	36
2.4. <i>MÓDULO DE CONTROL</i>	36
2.4.1. <i>RUTINA DE INICIACIÓN DE VARIABLES</i>	37
2.4.2. <i>RUTINA DE INICIACIÓN DE INTERRUPCIONES DE ALTA PRIORIDAD</i>	40
2.4.3. <i>RUTINA DE INTERRUPCIÓN DE MÓDULO RF</i>	42
2.4.4. <i>RUTINA ALMACENAR DATOS EN MEMORIA</i>	44
2.4.5. <i>RUTINA DE CONFIGURAR HORA EN EL RTC</i>	45
2.4.6. <i>RUTINA DE GUARDAR HORARIOS</i>	46
2.4.7. <i>RUTINA DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA</i>	47
2.4.8. <i>RUTINA LECTURA DE VÁLVULAS</i>	48
2.4.9. <i>RUTINA INFORMACIÓN HORA DEL RTC</i>	49
2.4.10. <i>RUTINA ON/OFF VÁLVULAS</i>	49
2.4.11. <i>RUTINA TRANSMITIR DATOS</i>	51
2.4.12. <i>RUTINA INTERRUPCIÓN DE MÓDULO DEL TIMER</i>	52
2.4.13. <i>RUTINA HUMEDAD CRÍTICA</i>	53
2.4.14. <i>RUTINA COMPARACIÓN DE HORARIOS</i>	54
2.5. DESARROLLO DE HARDWARE.....	55
2.5.1. <i>HARDWARE DEL MÓDULO DE CONTROL</i>	55
2.5.1.1. Microcontrolador: PIC18F452.....	55
2.5.1.1.1. Clock Generator Module (CGMC).....	56
2.5.1.1.2. Master Synchronous Serial Port module (MSSP)	57
2.5.1.1.3. Analog – To - Digital Converter (ADC).....	61

2.5.1.1.4. Timer 0.....	63
2.5.1.1.5. Distribución Detallada Del Microcontrolador	64
2.5.1.1.6. Hardware De Salidas Digitales	65
2.5.1.1.7. Salidas Digitales Tipo Relé	65
2.5.1.1.8. Salidas Digitales De Supervisión	66
2.5.2. <i>HARDWARE DEL MÓDULO DE LA ESTACIÓN REMOTA</i>	67
2.5.2.1. Microcontrolador: PIC18F252.....	67
2.5.2.1.1. USART Asynchronous Mode	68
2.5.2.1.2. Master Synchronous Serial Port Module (MSSP)	69
2.5.2.2. Criterios De Diseño De Circuito Impreso	69
3. ANALISIS DE RESULTADOS	71
3.1. PRIMERA ETAPA.....	71
3.2. SEGUNDA ETAPA	72
3.3. TERCERA ETAPA	72
4. CONCLUSIONES	73
5. BIBLIOGRAFIA	75
6. ANEXOS	76
6.1. ESQUEMÁTICO MÓDULO DE CONTROL.....	76
6.2. ESQUEMÁTICO MÓDULO DE ESTACIÓN REMOTO	77
6.3. FOTOS DEL DISPOSITIVO.....	78
6.4. ESQUEMA GENERAL.....	79

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. CAPAS DEL MODELO OSI.....	12
FIGURA 2. DIAGRAMA GENERAL DEL CIRCUITO	16
FIGURA 3. DIAGRAMA GENERAL DE HARDWARE	19
FIGURA 4. MANEJO DEL BUS EN LA COMUNICACIÓN I2C	22
FIGURA 5. RELEVO RY5W-K	24
FIGURA 6. ESQUEMA ELÉCTRICO PARA SALIDAS DIGITALES DE SUPERVISIÓN.....	26
FIGURA 7. MÓDULO TRF 2.4GHZ.....	27
FIGURA 8. DIAGRAMA EN BLOQUES DE LA ESTACIÓN REMOTA.....	29
FIGURA 9. SOFTWARE DE LA ESTACIÓN REMOTA	31
FIGURA 10. IRRIGATION VERSIÓN 1.0	31
FIGURA 11. SOFTWARE DEL MÓDULO DE CONTROL.....	36
FIGURA 12. INICIO DEL SISTEMA	38
FIGURA 13. RUTINA DE INTERRUPTONES DE ALTA PRIORIDAD.....	41
FIGURA 14. RUTINA DE INTERRUPTIÓN DE MÓDULO RF	43
FIGURA 15. RUTINA PARA ALMACENAR DATOS EN EL MICROCONTROLADOR	44
FIGURA 16. RUTINA PARA CONFIGURAR HORA DEL RTC	45
FIGURA 17. RUTINA DE GUARDAR HORARIO	46
FIGURA 18. RUTINA INFORMACIÓN DEL SISTEMA.....	47
FIGURA 19. LECTURA DE VÁLVULAS.....	48
FIGURA 20. INFORMACIÓN HORA DEL RTC.....	49
FIGURA 21. RUTINA DE ENCENDIDO/APAGADO DE VÁLVULAS	49
FIGURA 22. RUTINA DE TRANSMISIÓN DE DATOS.....	51
FIGURA 23. INTERRUPTIÓN DEL TIMER0	52
FIGURA 24. COMPARAR HORARIO DE HUMEDAD CRÍTICA	53
FIGURA 25. COMPARACIÓN DE HORARIOS.....	54

FIGURA 26. CONEXIÓN DEL CRISTAL EN EL MICROCONTROLADOR.....	56
FIGURA 27. BUFFER TRI-STATE 74HC125	60
FIGURA 28. SALIDA DIGITAL TIPO RELÉ (ESQUEMA GENERAL)	65
FIGURA 29. ESQUEMA ELÉCTRICO DE SALIDA DIGITAL TIPO RELÉ.....	66
FIGURA 30. CIRCUITO DE SUPERVISIÓN (ESQUEMA).....	66
FIGURA 31. ESQUEMA ELÉCTRICO PARA SALIDA DIGITAL DE SUPERVISIÓN.....	67
FIGURA 32. DISEÑO DE TARJETA EN LAYOUT DE ORCAD ®.....	70

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. FUNCIÓN DE PINES RS - 232	14
TABLA 2. ASIGNACIÓN PINES EN CONECTORES PARA RS – 232.....	15
TABLA 3. ESPECIFICACIONES DE LA ESTACIÓN REMOTA	18
TABLA 4. ESPECIFICACIONES DEL MÓDULO DE CONTROL	18
TABLA 5. ESPECIFICACIONES MICROCONTROLADOR PIC18F452	20
TABLA 6. PUERTOS Y SEÑALES RTC	21
TABLA 7. MAPEO DE MEMORIA DEL RTC.....	23
TABLA 8. PUERTOS Y SEÑALES RTC	23
TABLA 9. CARACTERÍSTICAS DEL RELÉ	25
TABLA 10. TABLA DE VERDAD DEL PROTOCOLO RS-232.....	30
TABLA 11. ESPECIFICACIONES MÓDULO DE COMUNICACIÓN	30
TABLA 12. CÓDIGO DE INSTRUCCIÓN DE INICIO Y SINCRONÍA DE HORA.....	33
TABLA 13. CÓDIGO DE INSTRUCCIÓN DE INFORMACIÓN ENVIADA POR EL MICROCONTROLADOR.....	34
TABLA 14. CÓDIGO DE INSTRUCCIÓN DE HORARIO, ENVIA PROGRAMACIÓN DE HORARIO AL MICROCONTROLADOR	35
TABLA 15. VECTORES DE MEMORIA	47
TABLA 16. RANGO DE VALORES DE FRECUENCIA Y CAPACITANCIA	57
TABLA 17. CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO SSPSTAT	58
TABLA 18. CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO SSPCON1	58
TABLA 19. SELECCIÓN DEL MODO DE SPI	59
TABLA 20. PARÁMETROS SPI.....	59
TABLA 21. CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO SSPCON1	61
TABLA 22. PARÁMETROS SPI.....	61
TABLA 23. CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO ADCON0.....	62
TABLA 24. CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO ADCON1.....	63
TABLA 25. PARÁMETROS ADC.....	63
TABLA 26. CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO T0CON	64
TABLA 27. CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO TXSTA	68
TABLA 28. CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO RCSTA	68
TABLA 29. CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO SPBRG	68

INTRODUCCIÓN

En Colombia los cultivos de flores constituyen una de las principales actividades que permiten el incremento de las exportaciones en el país, sin embargo, los avances tecnológicos en este sector son muy reducidos, lo que ha conllevado a una vinculación lenta de la automatización a los procesos que hacen parte de esta área. A medida que se incrementa la automatización, los procesos se han hecho más eficientes, demandando sistemas de control que permitan supervisar las variables que intervienen en el mismo. Por lo anterior, diferentes cultivos de flores han enfocado sus líneas de inversión en adquirir sistemas de telecontrol, telemetría, software de aplicación, sensores y actuadores de mayor precisión, que permitan un control en las variables que intervienen en su producción de flores. Esta adquisición por lo general es de tecnología extranjera, lo cual incrementa el costo de la inversión. La integración de todos estos aspectos introdujo entonces al diseño de un sistema de supervisión y control llamado IRRIGATION Versión 1.0 (Riego en el idioma inglés).

Por otra parte, en los últimos años se ha dado un importante desarrollo en el diseño de sistemas de comunicaciones basados en la transmisión digital de datos haciendo uso de diferentes medios de propagación. Dada la tendencia mundial del acceso inmediato a la información en cualquier momento y lugar, las comunicaciones inalámbricas son tal vez una de las herramientas con mayor auge en la actualidad. Aprovechando las ventajas que brindan los avances tecnológicos en el área de las comunicaciones inalámbricas, se han desarrollado aplicaciones que permiten acceder a la información de manera oportuna y confiable. Esta es una alternativa que obedece a las necesidades y avances tecnológicos actuales en los que el uso de cables va poco a poco desapareciendo. Una de las características más importantes en un sistema de automatización inalámbrica es la confiabilidad que éste requiere, el acceso a la variedad de datos que se manejan y la disponibilidad de los datos en tiempo real.

La gran mayoría de los sistemas de telecontrol y telemetría, están orientados a conexión, y dado el gran número de hectáreas de tierra que constituyen un cultivo de flores, no es muy viable la solución alambrada, ya que la implementación de un sistema con esta característica puede generar altos costos para la construcción y gestión del mismo, es por esto que el diseño de estos equipos que utilicen tecnologías inalámbricas despierta gran interés y confiabilidad.

Identificados los aspectos generales que se quieren cubrir, sumado al deseo de desarrollar tecnología nacional y, basados en los conocimientos adquiridos en las diferentes áreas que hacen parte de la ingeniería electrónica, surge el presente proyecto en el cual se diseña un sistema capaz de automatizar el riego

por goteo de un invernadero empleando un módulo inalámbrico de tecnología RF cuyo funcionamiento estará determinado por la información programada por el operario de riego ó mediante mediciones de humedad del suelo.

1. MARCO TEORICO

1.1. MODELO OSI

Durante las últimas décadas ha habido un crecimiento enorme en la cantidad, tipos y tamaño de las redes. Muchas de ellas sin embargo, se han desarrollado utilizando implementaciones de hardware y software diferentes. Como resultado de esto, muchas de las redes eran incompatibles y se hizo muy difícil para las redes que utilizaban especificaciones distintas poder comunicarse entre sí. Para solucionar este problema, la Organización Internacional para la Normalización (ISO) realizó varias investigaciones acerca de los esquemas de red. La ISO reconoció que era necesario crear un modelo que pudiera ayudar a los diseñadores de redes a implementarlas permitiéndoles comunicarse y trabajar en conjunto (interoperabilidad) y por lo tanto, elaboraron el modelo de referencia OSI en 1984.

Modelo OSI de Comunicación, Open Systems Interconnection (OSI), es un modelo de referencia para aplicaciones de comunicación de datos. Las siete capas del modelo OSI se encuentran divididas en dos partes; las capas 1 hasta la 4, son capas de nivel “bajo”. Y las capas 5 hasta la 7, son consideradas de nivel “alto”, concernientes a las aplicaciones de red.

El modelo OSI con todas sus capas se presenta a continuación:

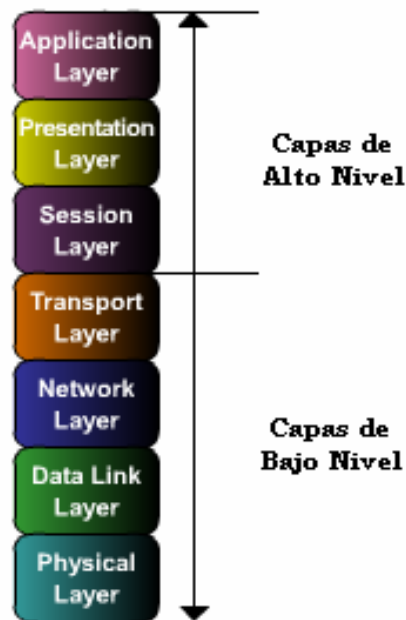


Figura 1. Capas del modelo OSI

(fuente:<http://www.seekfordsolutions.com/articles/images/osimodel.gif>)

Cada una de las capas del modelo OSI tiene una función específica:

- **Capa Física:** Capa en la cual se transmiten y reciben bits por el medio físico.
- **Capa de Enlace:** Encargada de procesar la dirección física de los host.
- **Capa de red:** Se encarga de la transmisión y recepción de paquetes en la red. Trabaja con la dirección lógica de los host (dirección IP).
- **Capa de transporte:** Su misión es el transporte de mensajes. Basa su funcionamiento en los puertos de conexión y es el enlace entre las capas de alto nivel (Aplicación) y las de bajo nivel.
- **Capa de sesión:** Sincroniza el dialogo entre dos o más capas de presentación y maneja el intercambio de datos.
- **Capa de presentación:** Se asegura que la información enviada por la capa de aplicación pueda ser leída; y puede traducir entre diferentes formatos de representación de datos.
- **Capa de aplicación:** Es la capa más cercana al usuario. Provee servicios de aplicación al usuario para procesos de nivel más alto que el modelo OSI.

En el modelo de referencia OSI, cada una de las capas ilustra una función de red particular. Esta división de las funciones de networking se denomina división en capas. La división de la red en siete capas presenta las siguientes ventajas:

- Normaliza los componentes de red para permitir el desarrollo y el soporte de los productos de diferentes fabricantes.
- Permite a los distintos tipos de hardware y software de red comunicarse entre sí.
- Impide que los cambios en una capa puedan afectar las demás capas, de manera que se puedan desarrollar con más rapidez.
- Divide la comunicación de red en partes más pequeñas para simplificar el análisis de la misma.

1.2. PROTOCOLO RS-232

El protocolo RS-232 fue desarrollado en los años 60 por la EIA (Electronic Industries Association), para ser implementado para la comunicación serial entre un DTE (Data Terminal Equipment) y un DCE (Data Communication Equipment), creando un estándar que permitiera la interconexión de equipos de diferentes fabricantes.

El protocolo RS-232 (Recommended Standard 232), se ubica dentro del modelo OSI en la capa 1 o física.

Sus características principales son:

- Conectores: DB-9 y DB-25
- Velocidades de Transmisión: 300 Baudios a 115.200 Baudios.
- Niveles de voltaje definidos de la siguiente forma:
- “0” lógico = 3 a 15 VDC (Space)
- “1” lógico = -3 a -15 VDC (Mark)

Las funciones de los pines se describen a continuación:

<i>Pin</i>	<i>Función</i>
TXD	(Transmitir Datos)
RXD	(Recibir Datos)
DTR	(Terminal de Datos Listo)
DSR	(Equipo de Datos Listo)
RTS	(Solicitud de Envío)
CTS	(Libre para Envío)
DCD	(Detección de Portadora)

Tabla 1. Función de pines RS - 232

Dependiendo del número de pines del conector RS-232, podemos encontrar dos tipos:

- DB-25
- DB-9

La distribución de cada uno de los pines se describe a continuación:

Numero de Pin		Señal	Descripción	E/S
En DB-25		En DB-9		
1	1	-	Masa chasis	-
2	3	TxD	Transmit Data	S
3	2	RxD	Receive Data	E
4	7	RTS	Request To Send	S
5	8	CTS	Clear To Send	E
6	6	DSR	Data Set Ready	E
7	5	SG	Signal Ground	-
8	1	CD/DCD	(Data) Carrier Detect	E
15	-	TxC(*)	Transmit Clock	S
17	-	RxC(*)	Receive Clock	E
20	4	DTR	Data Terminal Ready	S
22	9	RI	Ring Indicator	E
24	-	RTxC(*)	Transmit/Receive Clock	S

Tabla 2. Asignación pines en conectores para RS – 232.

Para una transmisión de 8 bits de datos, la transmisión comienza con un bit de inicio (nivel bajo), seguido de los 8 bits de datos y finaliza con un bit de parada (nivel alto). Es posible añadir un bit de paridad al final de la trama de datos con el fin de detectar errores en la transmisión.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL

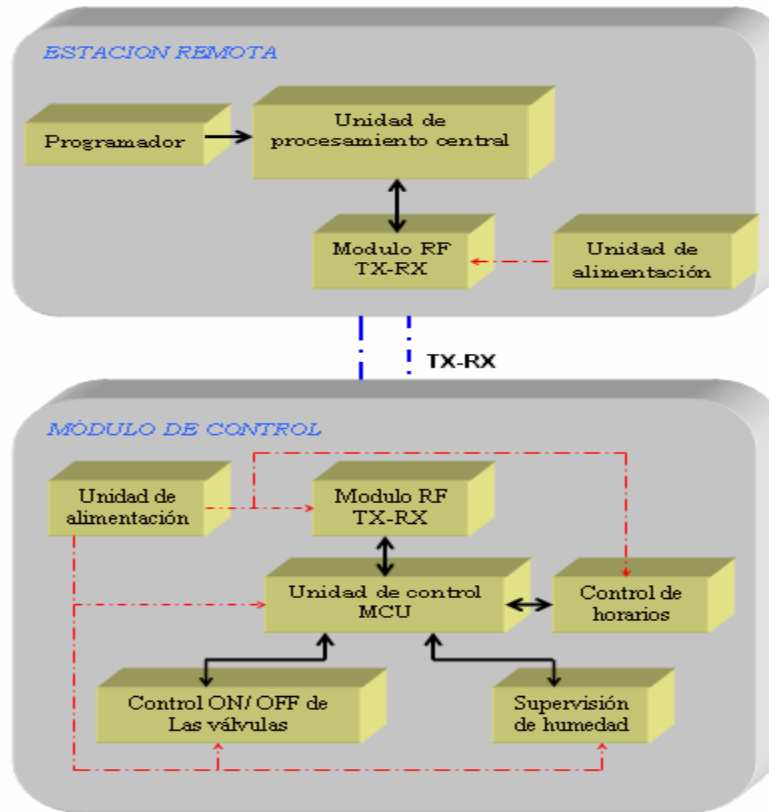


Figura 2. Diagrama general del circuito

El *SISTEMA AUTOMATIZACIÓN DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE FLORES*, denominado IRRIGATION, está conformado por dos módulos independientes que interactúan entre sí para lograr el objetivo de automatizar el proceso de riego por goteo en un invernadero. Cada uno de los módulos mencionados anteriormente está conformado por subsistemas que deben cumplir ciertas características mínimas para lograr la funcionalidad del conjunto.

El módulo control cuenta con todo el hardware de bajo nivel (microcontrolador, sensores, RTC, etc.) y en la estación remota reside principalmente el software para la programación de horarios de riego y para la supervisión del estado de las válvulas o el nivel de humedad del terreno.

Para que estos módulos puedan interactuar se incorporará al sistema una unidad de comunicación, que permite el intercambio inalámbrico de datos entre ellos.

La estación remota está conformada por dos (2) salidas digitales que controlan la apertura y cierre de las válvulas encargadas del riego en el invernadero, 1 entrada análoga que recibe los datos generados por el sensor que supervisa la

humedad del terreno, 2 salidas digitales utilizadas para activar un sistema para la supervisión del paso del agua por las válvulas y por ultimo cuenta con 1 entrada digital la cual permite verificar el estado ON/OFF de cada una de las válvulas dependiendo del valor arrojado por el sistema para la supervisión del paso del agua mencionado anteriormente.

La función de supervisión y control se realiza en la estación remota mediante una interfaz que permite:

- Controlar la apertura y cierre de las válvulas, ya sea mediante la programación de horarios de riego o en cualquier momento a criterio del administrador del riego.
- Supervisar remotamente el invernadero, lo que permite conocer el estado de las válvulas de riego y el nivel de humedad del suelo, con la finalidad de tomar acciones de control en forma remota.

La estación remota, esta diseñada utilizando el lenguaje de programación Delphi creada en forma de aplicación, que se encarga de recibir datos del operario y enviarlos mediante una interfaz RS232 al microcontrolador PIC18F252 el cual configura al módulo RF para el envío a la estación de control de los datos suministrados por el operario, en esta estación remota se recibe además los datos que envía el módulo de control como respuesta a requerimientos hechos por ésta.

Con el fin de establecer la comunicación punto a punto entre el módulo de control y la estación remota, se requieren dos módulos RF, los cuales mediante un proceso de configuración establecen una comunicación para intercambio de datos.

El módulo de control se implementó con un microcontrolador PIC18F452, en el cual se programaron rutinas para la iniciación de variables y periféricos, lectura de datos de entrada, control de apertura y cierre de válvulas y verificación de niveles de humedad. A partir de estos datos se define la toma de acciones de control y su envío a la estación remota.

La verificación de niveles de humedad se realiza con el valor obtenido del sensor; si este valor se encuentra por debajo de los rangos establecidos como adecuados (medida de humedad baja) el sistema será alarmado y el módulo de control iniciará la apertura de las válvulas asociadas al sensor por un periodo de 2 minutos, adicionalmente de forma automática éste reportará a la estación remota su estado, enviando una trama de datos que contienen la medida del sensor alarmado. Con este valor la aplicación identificará que el sistema no está en condiciones normales y generará un mensaje indicando dicho estado.

2.1. ESPECIFICACIONES GENERALES

<i>Estación remota</i>	
Alimentación (Vcc)	9 V -12 V
Puerto de comunicación	Serial RS-232 DB-9 57600bps
Módulo inalámbrico	TRF 24G
Dimensiones	20x10x15 cms
Peso	100 gramos
Temperatura promedio	30° C

Tabla 3. Especificaciones de la estación remota

<i>Módulo de control</i>	
Alimentación (Vcc)	9 V - 12 V
Módulo inalámbrico	TRF 24G
Entradas digitales	1 (estado de la válvulas)
Entradas análogas	2 (sensores)
Salidas digitales	5 (rele para válvulas)
Salidas digitales	5 (fuentes de corriente)
Dimensiones	20x10x15 cms
Peso	150 gramos
Temperatura promedio	30° C

Tabla 4. Especificaciones del módulo de control

2.2. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

El sistema Irrigation versión 1 está diseñado de tal forma que permita tener un conocimiento total del estado de las válvulas manejadas por este, de la humedad del terreno y por último controlar el riego en el invernadero. Para poder cumplir con estos tres requerimientos mencionados anteriormente se cuenta con dos módulos los cuales se describen a continuación:

2.2.1. MÓDULO DE CONTROL

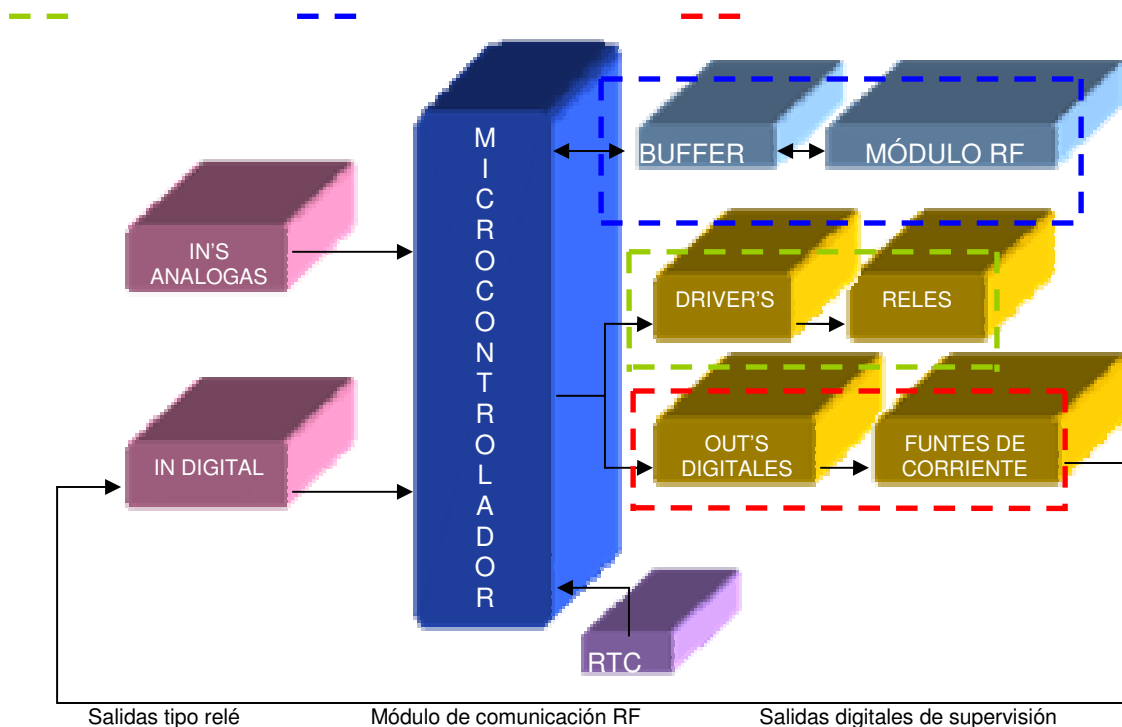


Figura 3. Diagrama general de hardware

El módulo de control es la unidad central de sistema Irrigation versión 1. Como se muestra en la figura 3, este módulo se divide en varios bloques, cada uno con una tarea específica que unidos permiten lograr la autonomía y funcionalidad del sistema.

A continuación se explica cada uno de los bloques que conforman el módulo de control

2.2.1.1. Microcontrolador

La unidad central de procesamiento de la estación remota está basada en el microcontrolador PIC18F452, el cual posee las siguientes características:

Característica	Valor
Frecuencia de Operación	DC a 40MHz
Memoria de Programa	32 Kbytes
Memoria FLASH	16384 Bytes
Memoria de Datos	1536 Bytes
Memoria EEPROM (Bytes)	256 Bytes
Fuentes de Interrupción	18
Puertos de Entrada/Salida	5 (A,B,C,D,E)
Instrucciones	75(altas y bajas)
Comunicaciones seriales	SPI, I ² C, USART

Tabla 5. Especificaciones microcontrolador PIC18F452

Las rutinas del microcontrolador fueron desarrolladas en lenguaje C, haciendo uso del programador ICD2, el cual proporciona la facilidad de poder compilar y programar el código de C en el microcontrolador sin necesidad de retirarlo del circuito (In Circuit Debugger).

El PIC18F452 como unidad central de procesamiento, es el encargado de recibir los requerimientos de supervisión y programación de riego provenientes de la estación remota, decodificarlos y de acuerdo a estos, activar las funciones de los diferentes bloques que conforman el módulo de control, con el objetivo de cumplir con los requerimientos de la estación remota. Por otra parte, la unidad central procesamiento esta en continua actualización del estado del invernadero, es decir cada 0.83 segundos, el microcontrolador genera una interrupción en la cual toma datos actuales de la humedad del terreno y del estado ON/OFF de las válvulas del invernadero, estos datos son enviados a la estación remota, lo cual permita que en la estación remota actualice el estado del invernadero y de esta forma tener un conocimiento real de las condiciones de éste.

2.2.1.2. RTC (Real Time Clock)

El RTC es el dispositivo usado en el módulo de control con el fin de programar los horarios de riego a partir de un registro de tiempo que se está actualizando constantemente con el temporizador de la estación remota (Reloj del PC). Su función principal es ser el reloj del módulo de control, lo cual le permite al modulo de control tener un grado de independencia con respecto al PC; en el caso en el que se presente una falla en el envío de datos debe existir un

mecanismo dentro del módulo de control que le permita tener presente el estado temporal del sistema.

El cumplimiento de los horarios de riego programados en la estación remota se hace posible gracias a la interacción entre el microcontrolador y el RTC. Al iniciar la comunicación entre la estación remota y el módulo de control, la estación remota le envía al modulo de control el valor de la hora actual para sincronización. Una vez el módulo de control reciba el dato de la hora, inicia el RTC en este valor y de esta forma contar con su reloj independiente. Cuando en la estación remota se programe un nuevo horario de riego, éste es enviado al modulo de control, y almacenado en un espacio de memoria del microcontrolador. Al realizar la verificación del sistema cada 0.83 segundos, el microcontrolador actualiza los datos del invernadero y también se comunica con el RTC tomando los datos de la hora. Este valor obtenido del RTC es comparado con los horarios de riego que tiene almacenados en memoria. Si estos valores son iguales, procede a cumplir con el horario de riego, si no solo actualiza datos.

Aunque el dispositivo funciona muy bien, puede presentar problemas en los conteos que hace que no exista una correspondencia exacta con el tiempo real, lo que influye en los horarios de riego, por esta razón se hace necesaria la continua actualización del mismo con la estación remota para tener un mayor nivel de confiabilidad (redundancia).

Para el RTC se empleó el modelo DS1307 de Dallas Semiconductor, el cual cuenta segundos, minutos, horas, día de la semana, fecha del mes, mes y año, puede ser trabajado con modo de 24 o 12 horas, con un campo que indica si es AM/PM para esta última. Este dispositivo utiliza el protocolo de comunicación I²C, tiene una batería de emergencia (back-up) con el fin de no perder la hora actual debido a fallas de energía y también cuenta con un espacios libres para escribir datos, lo que la hace que se pueda manipular como memoria RAM y consta también de una salida de señal cuadrada programable a cuatro frecuencias diferentes 1Hz, 4.096KHz, 8.192KHz ó 32.768HHz; siendo éstas las características más relevantes, pero puede encontrarse información más detallada en el sitio Web de Dallas¹.

La programación y lectura de datos del RTC, se encuentra implementada con el protocolo I2C, a través de 2 puertos I/O del microcontrolador.

Los puertos y señales del RTC que permiten la implementación del protocolo I2C se muestran a continuación:

PUERTO	FUNCIÓN
PORTC3	SCL (Serial Clock Input)
PORTC4	SDA (Serial Data Input/Output)

Tabla 6. Puertos y señales RTC

¹ www.maxim-ic.com

En la implementación de la comunicación I2C configuró el microcontrolador como dispositivo maestro y el RTC como esclavo. Esta configuración se puede apreciar en la siguiente figura:

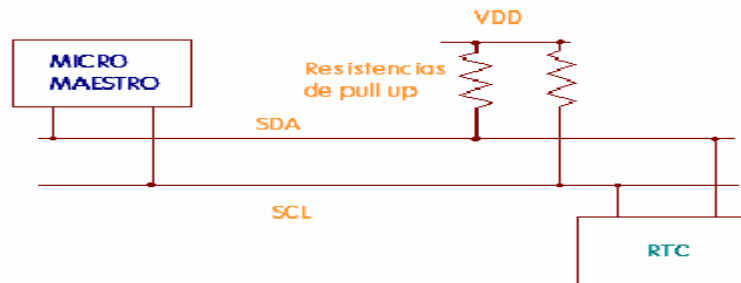


Figura 4. Manejo del bus en la comunicación I2C

Como se muestra en la figura 4, el modo de manejo del bus I²C es el de maestro, debido a facilidad en la implementación en caso que otros sistemas de control y supervisión se quieran adherir al proyecto, pues es uno solo el microcontrolador que manejaría toda la parte de la comunicación respecto a sus periféricos esclavos. Ya siendo maestro, el microcontrolador es el encargado de generar el comienzo de transmisión y recepción de datos. En un principio la transmisión (escritura) de datos con el RTC, consiste la actualización o iniciación de los registros de la hora y fecha para que comience a contar, y el de control, encargado de configurar la señal externa cuadrada. Esta señal fue programada a una frecuencia de 1Hz para que sea una señal de punto de prueba, que indicará si el RTC esta funcionamiento correctamente. Al ser el microcontrolador maestro, es el quien determina la frecuencia del bus mediante cambios de valor en algunos registros de configuración en el PIC18F452. Estos son, según lo relaciona las hojas de especificaciones del microcontrolador², el registro SSPADD, que debe corresponder con la siguiente ecuación:

$$F_{CLK} = \frac{F_{OSC}}{4 * (SSPADD + 1)}$$

Así es que el registro SSPADD toma un valor de 49 (en formato decimal), donde la frecuencia de trabajo del PIC (F_{OSC}) es de 10MHz y la frecuencia de trabajo del bus es de 50kHz (F_{CLK}).

La información de tiempo y calendario es obtenida al leer los apropiados registros de Bytes, los cuales están localizados en las direcciones de memoria del RTC desde la 00H hasta 07F como se muestra en la siguiente tabla:

² www.microchip.com

ADDRESS	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	FUNCTION	RANGE
00H	CH	10 Seconds			Seconds				Seconds	00–59
01H	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00–59
02H	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours				Hours	1–12 +AM/PM 00–23
		24	PM/AM							
03H	0	0	0	0	0	DAY			Day	01–07
04H	0	0	10 Date		Date				Date	01–31
05H	0	0	0	10 Month	Month				Month	01–12
06H	10 Year				Year				Year	00–99
07H	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—
08H-3FH									RAM 56 x 8	00H–FFH

0 = Always reads back as 0.

Tabla 7. Mapeo de memoria del RTC

De igual manera, si se desea configurar el tiempo o el calendario del RTC se debe modificar los respectivos Bytes de los registros de la anterior tabla.

La batería de “backup” permite que el reloj continúe en funcionamiento manteniendo la hora actualizada. Sin embargo, el usuario puede consultar y programar la hora en forma remota cuando lo estime conveniente.

Las especificaciones generales del RTC DS1307 se encuentran a continuación:

Característica	Valor
Puerto de comunicación	I2C (comunicación serial)
Alimentación Vcc	4.5v – 5.5v
Reloj externo	32.768Khz Quartz Crystal

Tabla 8. Puertos y señales RTC

2.2.1.3. Salidas Tipo Relé

Como se mencionó anteriormente, una de las funciones del módulo de control es controlar el estado ON/OFF de las válvulas, para eso se seleccionaron en el microcontrolador 5 salidas digitales programadas para cumplir esta función.

Las válvulas son activadas con relés los cuales son manejados por drivers. Estos últimos fueron implementados con MOSFETS 2N7000, con resistencias de pull-up y alimentación de 5VDC.

El procedimiento para abrir o cerrar cada una de las válvulas está controlado por las salidas digitales del microcontrolador. Cada salida digital controla una fuente

de corriente, estas salidas activan dichas fuentes las cuales alimentan una resistencia ubicada en el Gate del Mosfet, lo cual hace que éste se encienda, es decir, el voltaje de la resistencia determina el estado del Mosfet, si el voltaje es 0 voltios éste se encuentra cortado y si es 5 voltios se encontrará saturado. Estas condiciones de corte y saturación son las que controlan el relé ya que la entrada del relé esta manejada por la salida del Drain del Mosfet. Cuando el Mosfet está saturado circulará una corriente por el Drain que hace que el relé se active encendiendo la válvula, por el contrario, cuando el Mosfet esté cortado no circula corriente por éste, no se activará el relé y por consiguiente la válvula estará apagada.

El relé es uno de los actuadores más importantes ya que es el que permite que las válvulas se enciendan o se apaguen. Es por esto que se debe contar con un relé, cuyas características eléctricas soporten las condiciones de corriente y voltaje que implica una red de este tipo o de la misma forma tener en cuenta un diseño óptimo de un circuito que permita la conmutación requerida.

Las características generales del relevo son:

- El aislamiento entre los terminales de entrada y de salida.
- Adaptación sencilla a la fuente de control.
- Posibilidad de soportar sobrecargas, tanto en el circuito de entrada como en el de salida.
- Las dos posiciones de trabajo en los bornes de salida de un relevo se caracterizan por:
 - En estado abierto, alta impedancia.
 - En estado cerrado, baja impedancia.

Según las características de corriente y voltaje que manejan las válvulas, se escogió el relevo de referencia RY5W-K el cual se caracteriza por un bajo consumo de potencia.

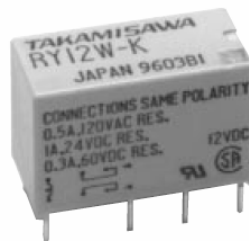


Figura 5. Relevo RY5W-K
(Fuente: www.amiga-stuff.com/hardware/ryw.html)

Donde las características principales de este son:

Característica	Valor
Maxima potencia de switcheo	60VA/24W
Máximo voltaje de switcheo	120 VAC, 60 VDC
Maxima corriente de switcheo	1A

Tabla 9. Características del relé

2.2.1.4. Salidas Digitales De Supervisión

El sistema IRRIGATION Versión 1.0 permite supervisar remotamente el estado de las válvulas de riego ubicadas alrededor del invernadero, para esto el módulo de control debe verificar el nivel de las salidas del microcontrolador que manejan las válvulas, si este nivel es 1 se supone que la válvula se encuentra abierta y si esta en cero la válvula está cerrada, el problema es que este valor no es muy confiable, porque puede ser que el microcontrolador este proporcionando niveles adecuados de voltaje, pero la válvula no responda a estos ya sea por que presenta algún daño o está configurada para ser manejada manualmente, en este ultimo caso la válvula se cierra o se abre manualmente sin importar que esta reciba niveles de voltajes.

Para evitar datos erróneos, además de verificar los niveles de las salidas del microcontrolador, se determina si por la válvula está circulando agua o no. Para esto se hace una supervisión directa del paso del agua por la válvula, que consiste en introducir dos platinas de acero en el tubo por donde circula el agua, para esto se implementó un circuito de comprobación directa cuyo principio esta basado en la conductividad del agua, es decir, al estar abierta la válvula y pasar agua por el tubo, la conductividad del agua hace que las platinas se comporten como un circuito cerrado y en caso contrario como un circuito abierto.

El circuito de comprobación directa esta formado por una fuente de corriente que alimenta una resistencia. Para que exista una trayectoria de corriente es necesario que esté circulando agua por la válvula, lo cual hará que las platinas de acero introducidas en el tubo sean un circuito cerrado. Es decir, en el momento que el sistema remoto desee conocer el estado de las válvulas, las salidas digitales de supervisión asociada a cada válvula tomarán un nivel alto de voltaje, el cual hará que se enciendan las fuentes de corriente y éstas iniciarán una trayectoria que atraviesa por el tubo hasta llegar a una resistencia a tierra; si el voltaje de la resistencia es cero quiere decir que no esta circulando corriente por ella y esto es debido a que la válvula está cerrada y no pasa agua por el tubo, generando que la fuente de corriente no tenga el camino que le conduce a la resistencia; si el voltaje en la resistencia es alto quiere decir que la válvula

esta abierta y al circular agua por el tubo las platinas incrustadas en este, cierran la trayectoria que recorre la corriente hasta llegar a la resistencia.

El nivel de voltaje resultante de esta resistencia es retroalimentado al microcontrolador como una entrada digital; las rutinas del microcontrolador revisan el nivel de las salidas que controlan las válvulas, el valor de esta entrada digital, y con estos datos determina si la válvula esta abierta o no.

La elección de este sistema no fue el mejor, en el laboratorio obtuvimos buenos resultados por que contábamos con agua potable la cual contiene cloro el cual aumenta la conductividad del agua, pero en el caso de los invernaderos el agua es de pozo que no contiene cloro, por lo cual su conductividad es mucho menor haciendo que este sistema no sea preciso.

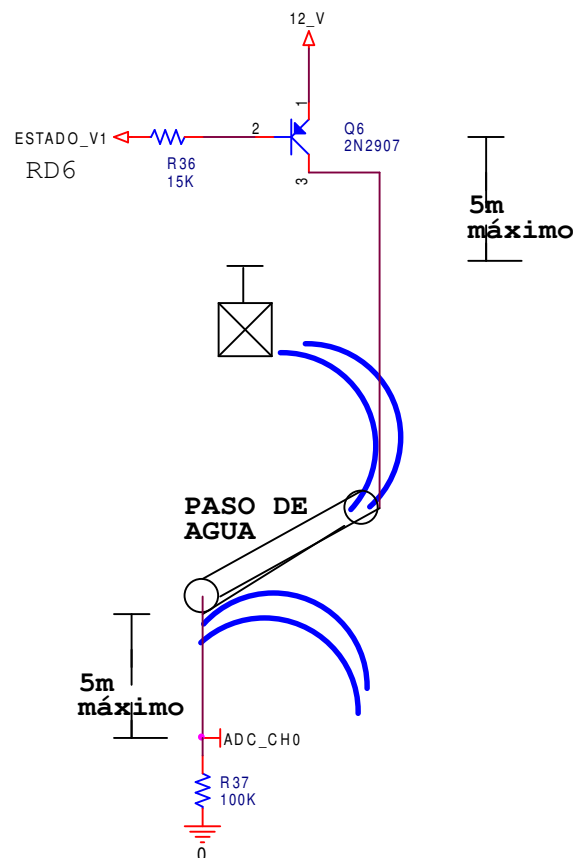


Figura 6. Esquema eléctrico para salidas digitales de supervisión

2.2.1.5. Entrada Análoga

La entrada análoga del microcontrolador es empleada para recibir los datos del sensor de humedad del suelo cuando la estación remota lo solicite.

El sensor de humedad es utilizado para supervisar la humedad del terreno del invernadero, con el fin de mantener niveles adecuados de humedad. De acuerdo a la medición arrojada por este sensor el operario de riego será capaz de tomar decisiones para la programación de futuros riegos o la duración de estos; en el caso que la medida arrojada por el sensor indique que el terreno esta muy seco, el módulo de control alarmará el sistema y activará la válvula de riego sin tener en cuenta la programación de horarios, esto con el fin de dar la prioridad a la medición del sensor.

El microcontrolador tiene configurado 2 entradas para los sensores, las cuales están ubicadas en el PORTA, esto con el objetivo de hacer uso del ADC del microcontrolador para convertir las mediciones análogas de los sensores a niveles digitales.

2.2.1.6. Módulo De Comunicación

El módulo RF utilizado para la comunicación inalámbrica entre el módulo la estación remota y el módulo de control es el TRF2.4GHZ “Transceiver” Transmisor receptor de radio frecuencia.

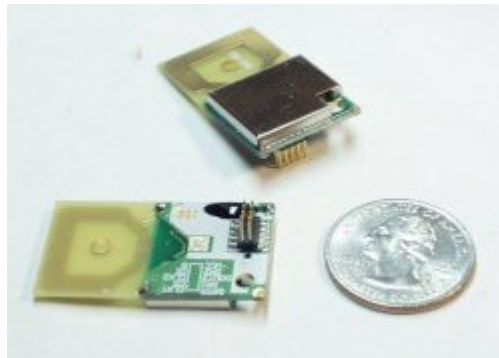


Figura 7. Módulo TRF 2.4GHZ

(Fuente : <http://www.sparkfun.com/shop/index.php?shop=1&cart=279937&cat=62&>)

Este módulo posee las siguientes características³:

- Opera en la banda de frecuencia de 2.4Ghz.
- Usa modulación GFSK y su comunicación es “Real Full Duplex
- Incluye codificador, decodificador y “data Buffer”.
- Tiene un alcance de 280 metros si trabaja a una tasa de transferencia de 250Kbps y de 150 metros si la tasa de transferencia es de 1Mbps.

³ www.sparkfun.com

- Incluye la antena de RF incorporada.
- Opera a 3 Voltios DC.
- Su tamaño es de 20 x 36.7 x 2.4mm
- Tiene muy bajo consumo de potencia.

La comunicación con el microcontrolador usa el protocolo “3-wire” el cual se implementó mediante el puerto SPI (Serial Peripheral Interface) del microcontrolador. El modo SPI permite el envío y recepción sincrónica de tramas de 8 bits de datos.

2.2.1.7. Fuente De Voltaje

Tanto el circuito de estación remota como el del módulo de control pueden ser polarizados con una fuente de alimentación entre 9 y 12 voltios DC.

Internamente se derivan dos fuentes de alimentación con sus respectivos reguladores de voltaje para fijar los dos valores de voltajes necesarios. Las fuentes de voltajes son de 3V para la alimentación del módulo RF TRF2.4GHZ y 5V para alimentar el resto de partes del circuito.

La variación de la fuente digital en relación con las variaciones en el voltaje de entrada es de 0,02%. El consumo promedio de corriente es de 50mA.

2.2.2. ESTACIÓN REMOTA

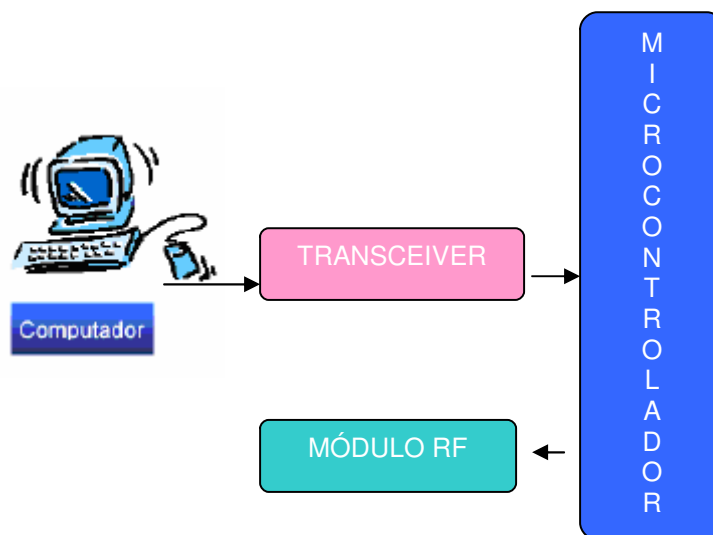


Figura 8. Diagrama en bloques de la estación remota

La estación remota es un módulo encargado de controlar el sistema de riego por goteo, por medio del cual se busca el cumplimiento efectivo de todos los procesos involucrados en este. En el módulo remoto reside el software de aplicación encargado de enviar y recibir datos al módulo de control y a partir de éstos, automatizar el sistema de riego.

2.2.2.1. Módulo De Software

El software de aplicación se divide en dos partes:

- **Interfaz de programación:** es la parte del software de aplicación que consta de una interfaz simple y versátil que le permite al ingeniero de riego introducir datos de la programación del horario de apertura de válvulas, de acuerdo al cronograma de riego establecido por él, para posteriormente ser enviados al módulo de control y de esta forma dar inicio a la ejecución de este.
- **Interfaz de supervisión:** es la parte del software de aplicación que permite supervisar el estado del módulo de control, los niveles de humedad del terreno y el estado (ON/OFF) de las válvulas alrededor del cultivo en el momento que el operario lo desee. Estos datos son enviados por el módulo de control como respuesta al requerimiento hecho por la aplicación.

Este software contiene un registro en donde se almacena los diferentes horarios de riego que han sido programados, con el fin de mantener un registro que permita analizar las estrategias de programación de éstos. Además consta de un sistema de seguridad en la cual se le dará acceso al programa sólo al encargado de administrarlo, de esta forma se evita que cualquier persona entre al programa y cause daños al cultivo. Adicionalmente, define privilegios para cada una de las cuentas de usuario.

2.2.2.2. Conversor De Voltaje

La comunicación entre el PC donde se encuentra la aplicación y el microcontrolador se realiza utilizando el protocolo serial RS-232. El microcontrolador posee el módulo de USART, que hace posible la comunicación serial entre éstos. Este protocolo de comunicación requiere niveles de voltajes de -12 V (nivel lógico 1) y 12 V (nivel lógico 0), por lo cual se debe usar un conversor de voltaje, que convierte los niveles lógicos del microcontrolador a los que necesita el PC.

Esta comunicación serial permite la programación y/o envío y recepción de datos desde la aplicación hasta el microcontrolador y viceversa.

La conversión de voltajes TTL del microcontrolador a niveles RS-232, se hace mediante el conversor de voltaje MAX 232. Este dispositivo permite manejar 4 señales de entrada y 4 de salida con protección de sobrevoltajes hasta $\pm 10\text{kV}$. El driver genera los voltajes negativos y positivos, cambiando las señales según la tabla de verdad del protocolo.

Valor Lógico	RS-232 (V)
0	3 a 15
1	-3 a -15

Tabla 10. Tabla de verdad del protocolo RS-232

2.2.2.3. Microcontrolador

La unidad central de procesamiento de la estación remota esta basada en el microcontrolador PIC18F252, encargado de recibir y enviar datos de la aplicación haciendo uso de la USART. El microcontrolador configura la velocidad de transmisión, la cual está determinada por pre - escalizadores de la frecuencia de bus del microcontrolador obteniendo una tasa de transmisión de 57600 bps. Las especificaciones generales de la comunicación serial se muestran en la siguiente tabla:

Especificaciones	
Puerto microcontrolador	SC1 (Serial Com.)
Conector	DB-9 M
Estándar	RS-232
Conversor TTL – RS-232	MAX232
Voltajes máximos	(-)15V – 15 V
Control de Flujo	DTR, RTS, CTS, DSR
STOP	1 Bit
Paridad	NO
Velocidad de Tx	57600 Baudios
Señalización	NRZ

Tabla 11. Especificaciones módulo de comunicación

Las fuentes de alimentación y el módulo RF implementados en este módulo poseen las mismas características y especificaciones que los usados en el módulo de control.

2.3. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

2.3.1. ESTACIÓN REMOTA

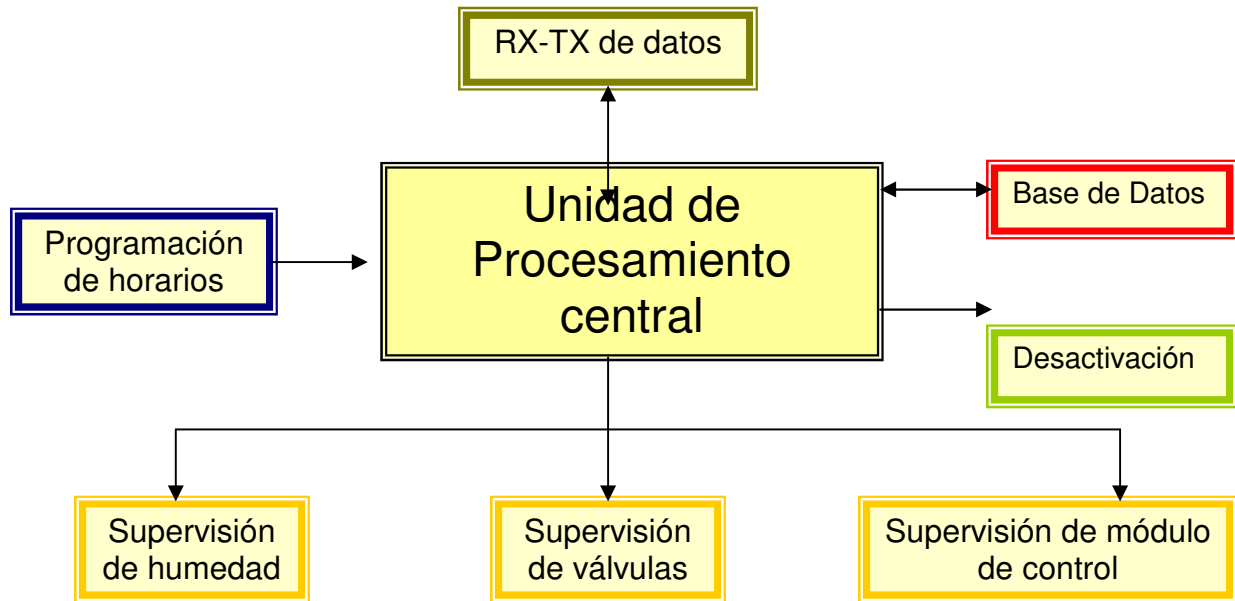


Figura 9. Software de la estación remota

En la estación remota se encuentra el software de aplicación “IRRIGATION Versión 1.0”, el cual forma parte de un sistema de automatización para el riego y control de humedad en cultivos de flores (claveles) ubicados en la sabana de Bogotá.



Figura 10. Irrigation versión 1.0

La aplicación IRRIGATION Versión 1.0, diseñada para el sistema de automatización fue creada en el lenguaje de programación DELPHI 7.0, uno de los más versátiles lenguajes utilizados en la actualidad, con un ambiente de

trabajo grafico basada en el uso de formas y herramientas que permiten, diseñar, probar y compilar cuantas veces se requiera.

El diseño se dividió en bloques que corresponden a cada una de las actividades que debía realizar el programa, determinando la relación con el hardware en todo momento y buscando la forma más sencilla de uso, pues no todos los operarios de riego poseen conocimiento avanzado en el uso de aplicaciones.

2.3.1.1. Menú Principal

Se definió inicialmente un menú o bloque M que contuviera un icono para cada uno de los bloques, en total 5. Los que finalmente fueron definidos como: Programador, Modificador, Control, Supervisión y Usuarios.

El menú principal se encuentra asociado directamente al ejecutable del programa y adicionalmente esta ligado en el arranque, al sistema de seguridad que fue creado para esta aplicación.

2.3.1.2. Comunicación con el puerto Serial COM

Debido a que toda la información que se trasmite y recibe entre los módulos de comunicaciones, interactúa con el computador a través del puerto serial, se considero necesario que el usuario al iniciar el programa tuviera la que elegir el número de puerto COM al cual tenia asociado el puerto serial externo de su equipo, disminuyendo así problemas de comunicación y asegurándose de que se tendría real contacto con el módulo conectado.

En lenguaje de programación lo que se realizó simplemente fue la elección de unos caracteres que determinan cada puerto COM y una función que abriera el puerto para preparar la comunicación.

2.3.1.3. Seguridad de Acceso y Privilegios

Tras haber elegido el puerto COM correctamente, la aplicación abre una ventana para ingresar el nombre de usuario y la clave correspondiente, donde intervienen entonces todos los aspectos relacionados con la seguridad del sistema, en el caso de IRRIGATION Versión 1.0 controlada de la siguiente manera: se creo una asociación entre la ventana de ingreso, el bloque Usuarios y una tabla de una base de datos. De manera tal que las cuentas de usuario fueran creadas, modificadas y editadas desde el bloque Usuarios y al ser almacenada la información, se direccionará a una tabla definida como Usname ubicada en una carpeta BD, que siempre debe estar en la misma carpeta que el ejecutable y sus fuentes.

Dicha tabla contiene la información sobre las cuentas creadas en columnas con: nombre, apellido, nombre de usuario y clave de acceso; adicionalmente a esto, el tipo de cuenta que fue creado, algo similar a lo utilizado en el sistema operativo Microsoft Windows, donde se definen los privilegios al interior del sistema.

IRRIGATION incluye 3 tipos de usuarios asociados a los diferentes privilegios.

- Administrador - tiene acceso ilimitado a todos los bloques del sistema, puede crear, editar y eliminar cuentas de usuario.
- Ingeniero - tiene acceso a todos los bloques del menú con excepción del bloque Usuarios.
- Supervisor - solo tiene acceso al bloque Supervisión donde podrá ver el estado de las válvulas, el valor arrojado por los sensores y la hora que tiene sincronizada el computador con el módulo conectado a las válvulas y sensores.

Con respecto a seguridad en el código se realizan dos procesos, primero verificar que el nombre de usuario corresponda con uno existente, luego se verifica la clave ingresada y por último después de tomar la información sobre el tipo de cuenta de la base de datos se inhabilitan los iconos del menú.

En el menú fuera de los bloques principales se tiene 3 botones adicionales, uno para mantener la sincronía del reloj del computador con el RTC, uno con información sobre los creadores del programa y uno de ayuda que conduce al manual de usuario.

Después de haber logrado el ingreso satisfactorio al menú la aplicación comienza a interactuar con el módulo de comunicación, le envía una trama de 13 bytes con la siguiente información en código binario:

CÓDIGO DE INSTRUCCIÓN	Min.	Hora	Día	Mes	Año	-	-	-	-	-	-	-
00000010												

Tabla 12. Código de instrucción de inicio y sincronía de hora

Como se menciona anteriormente el manejo de la programación del RTC se hace usando código BCD, fue necesario realizar algunas conversiones para que los bytes 2,3,4,5 y 6 de esta trama llevaran la información de tal manera que el RTC la pudiera utilizar para su sincronización.

En la parte inferior del menú se incluyo la información sobre el puerto abierto, el estado de la comunicación, la hora y fecha enviada.

En cualquier momento puede ser utilizado el botón de sincronía, el cual enviará nuevamente la trama descrita con anterioridad.

El módulo conectado a las válvulas que tiene como unidad central el microcontrolador, envía constantemente una trama de la longitud estándar utilizada en la aplicación IRRIGATION que corresponde a 13 Bytes, con toda la información del sistema que se requiere en los diferentes Bloques, nótese que al enviar cualquier trama desde el computador el código en Delphi tiene una verificación de la trama entrante, que le permite determinar si el funcionamiento del sistema en cuanto a comunicación inalámbrica es satisfactorio o no.

CÓDIGO DE INSTRUCCIÓN	Sensor1	Sensor2	E.F.V al1	E.F.V al2	-	Horas	Min.	-	-	E.P.V al1	E.P.V al2	-
00000001												

Tabla 13. Código de instrucción de información enviada por el microcontrolador

2.3.2. PROGRAMADOR

El bloque Programador fue diseñado para que el operario de riego defina la programación semanal de riego que quiere cumplir con las válvulas conectadas al sistema automatizado.

Inicialmente tiene acceso a una ventana donde podrá elegir entre, crear un horario nuevo, utilizar el último enviado o uno de los anteriormente creados. La ventana mencionada esta relacionada con dos tablas que se encuentran en la base de datos, una con la información sobre el usuario que creo el horario, la fecha y una variable que permite determinar cual fue el último horario enviado. Y otra con la información detallada de cada programación, donde se incluye el horario inicial, horario final y válvula elegida. Después de haber ingresado la opción, vera una plantilla a manera de tabla con celdas que simula un horario, con 7 días de la semana y las 24 horas del día. Cada celda esta dividida por líneas pequeñas que corresponden a píxeles del recuadro y estos asociados a las diferentes horas y minutos; con el uso del ratón es posible seleccionar cualquier hora en el día y al hacer clic se accesará a una pequeña ventana donde se puede definir con precisión la hora de inicio y final de riego, y la válvula implicada.

En la parte superior derecha se creo un botón que despliega un calendario completo que permite elegir el día del mes y año en el cual se quiere iniciar el programador, y en la parte inferior se creo una caja donde el usuario pueda definir el número máximo de riegos que puede tener al día, cuyo limite fue (4) pues dependía directamente de la cantidad de información que el microcontrolador podría almacenar.

Al finalizar la definición grafica del horario, debe ser guardado para lo cual se cuenta con un botón que envía la información a las dos tablas anteriormente mencionadas, y posteriormente debe usarse un botón que envía la las tramas al PIC.

CÓDIGO DE INSTRUCCIÓN	Mi n.	Horas	Día	Me s	Año	Mi n.	HoraF IN	Día	Me s	Año	Dispositivo	-
00000100												

Tabla 14. Código de instrucción de horario, envía programación de horario al microcontrolador

El módulo conectado al computador envía esta trama por cada horario definido en el calendario gráfico, y en un tiempo de espera de 4 milisegundos generado por la función (Sleep). Para evitar problemas con horarios guardados anteriormente en el micro se optó por enviar una trama al utilizar el botón enviar al PIC que reinicie la información que se tenía almacenada, a la que corresponde el código de instrucción 7.

2.3.3. MODIFICADOR

Esta bloque del menú permite al usuario ingresar directamente al último horario enviado con éxito, y modificar los riegos programados, una ventaja de la definición de las funciones relacionadas con el PIC es que si se envía un horario que ya esta en curso el microcontrolador verificará la hora mayor o igual, si ha comenzado un horario él de todas maneras cumplirá con la programación de riego estipulada.

2.3.4. CONTROL

Una de las partes más importantes de la automatización sucede en este bloque, donde se pueden visualizar todas las variables estipuladas por el proyecto, la información proviene de la trama que mencionamos anteriormente enviada por el microcontrolador a través del módulo conectado a las válvulas. La aplicación conoce de antemano a que pertenece cada byte que recibe y actualiza constantemente los datos, para mayor confiabilidad del sistema se decidió que cada válvula no solo tuviera información sobre el estado programado que fue enviado al microcontrolador, sino que adicionalmente con el uso del ADC interno registrara el estado físico del paso de agua sobre la válvula.

Uno de los datos de mayor relevancia en el contexto de programación de horarios también es incluido en este bloque, se trata de la hora que registra el RTC del otro lado de la conexión inalámbrica, el cual debe concordar con el del PC para corroborar que existe sincronía en el sistema, y es tomado de los bytes 7 y 8, para ser convertido en hexadecimal y mostrado en pantalla.

Eso en cuanto a supervisión del sistema se refiere, pero para la parte específica de control se cuenta con 3 botones, uno que acciona el encendido de la válvula

1, uno que acciona el encendido de la válvula 2 y otro que apaga la apertura de estas. Para ello se definió un Código de instrucción que es igual para los tres casos pero en el byte número 12, se le define el dispositivo con el cual debe interactuar dependiendo del botón utilizado.

- Uno en el byte 12 para el dispositivo válvula 1
- Dos en el byte 12 para el dispositivo válvula 2
- Cuatro en el byte 12 para cerrar las válvulas

El control del sistema incluye también la medida que arroja el sensor de humedad, y lo muestra en pantalla; con anterioridad el diseñador del software limita el valor al cual se debe encontrar en alarma por humedad y el tiempo estipulado de riego para dicha alarma, esto depende de las características del sensor, a ubicación del cultivo, las condiciones climáticas del año y el riego. El valor se encuentra en el byte 2 de la trama de 13, el byte número 3 esta libre para tomar la información de un segundo sensor, al igual que el byte 6 esta libre para una válvula mas, todo en pro de la actualización pronta del sistema de automatización.

Se incluyo también el botón de sincronía ya explicado anteriormente.

2.3.5. SUPERVISIÓN

El bloque supervisión es una réplica del bloque control, pero no incluye visualmente botones, fue implementado para una cuenta de usuario específica definida con anterioridad: Supervisor y como su nombre lo indica solo permite ver los valores que recibe la CPU del sistema.

2.4. MÓDULO DE CONTROL

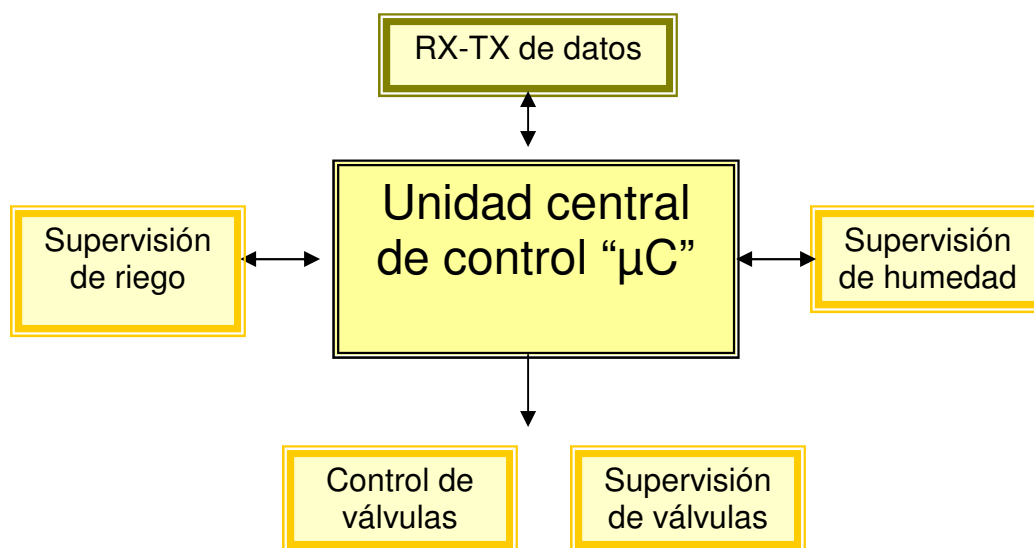


Figura 11. Software del módulo de control

Las actividades básicas del módulo de control son:

- Supervisión de válvulas
- Supervisión de humedad
- Control ON/OFF de válvulas
- RX y TX de datos

Estas funciones son implementadas gracias a la interacción de diversos módulos y a la programación de la unidad de control. La programación del microcontrolador se realizó en el lenguaje C, el cual fue elegido por su facilidad en el manejo de las funciones y módulos del microcontrolador.

A continuación se describen las rutinas programadas en el microcontrolador del módulo de control:

2.4.1. RUTINA DE INICIACIÓN DE VARIABLES

Al encender el módulo de control, el microcontrolador ejecuta una rutina de inicio, la cual establece los parámetros que hacen posible el funcionamiento general del módulo y la posibilidad de establecer comunicación con la estación remota.

A continuación se muestra el diagrama de flujo que permite la iniciación del sistema:

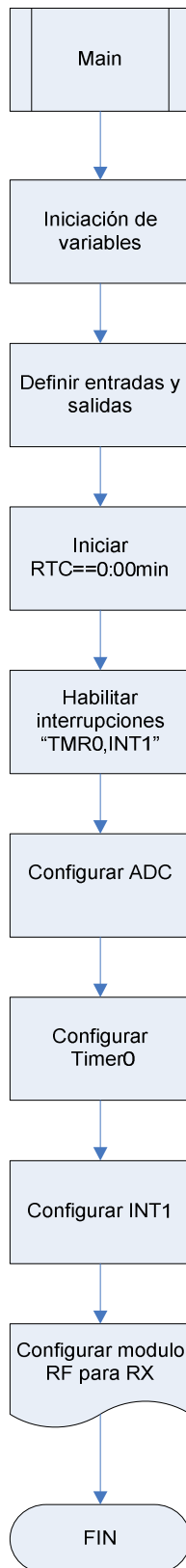


Figura 12. Inicio del sistema

Las diferentes funciones que hacen parte de la rutina de iniciación del sistema se explicarán a continuación:

- **Iniciación de variables:** la función de iniciación permite establecer los valores de variables utilizadas en el programa, entre las cuales se encuentran banderas que dan indicación del estado del sistema, por ejemplo determinan si el modulo de control esta en horario, o si esta alarmado por humedad critica, es de suponer que al inicio el valor de estas banderas es cero, y una vez se haga la supervisión del sistema, estas variables tomaran su valor indicado real. En la función de iniciación se establece además, el valor límite de humedad, es decir, el punto de referencia que determina la humedad del terreno.
- **Definición de entradas y salidas:** con esta función se configuran los puertos del microcontrolador para obtener las entradas y salidas estipuladas para el manejo periféricos, control y supervisión de válvulas, supervisión de humedad, comunicación de con modulo inalámbrico entre otras.
- **Iniciar RTC:** esta función permite establecer la comunicación maestro esclavo entre el microcontrolador y el RTC, para de esta forma configurar en cero el valor inicial de los registros de datos del RTC, es decir, el RTC comienza su conteo partiendo de la hora 0:00. Como se mencionó anteriormente, la comunicación entre el microcontrolador y el RTC se realiza haciendo uso del protocolo I2C por lo cual es necesario configurar en esta función los valores de los registros del microcontrolador asociados módulo I2C. Estos registros permiten establecer frecuencia del bus la cual se eligió de 50 kHz y el modo del puerto (maestro-esclavo).
- **Habilitar interrupciones:** el PIC18F452 maneja dos niveles de prioridad para las interrupciones, Alto y Bajo. La función habilitar interrupciones, como su nombre lo indica permite habilitar las interrupciones y los niveles de prioridad del microcontrolador. Las dos interrupciones que se manejan son:
 - Timer(TMR0)
 - Interrupción externa (INT1)

Estas dos interrupciones son manejadas con niveles de interrupción de alta prioridad, debido a que sin importar cualquiera de los procesos que se estén llevando a cabo, si existe una interrupción externa o si interrumpe el timer, este debe permanecer en ese estado hasta que la orden sea cambiada o pase el tiempo requerido que reinicie el sistema. Ambas están al mismo nivel porque cualquiera de ellas puede interferir en el proceso de la otra sin que se afecte el proceso propio.

- **Configurar ADC:** la función configurar ADC activa en el microcontrolador el módulo ADC, el cual es utilizado para convertir a valores digitales las mediciones de humedad y el valor de voltaje de la resistencia de supervisión de paso de agua por las válvulas. En esta función se configura el tiempo de conversión y el canal utilizado para la conversión.
- **Configurar Timer 0:** esta función establece los valores de los registros del microcontrolador asociados a los módulos de conteo "timers". Esta configuración permite activar el timer 0, configurar el tiempo de interrupción en 0.83 segundos y activar la interrupción del timer en un nivel alto de prioridad.
- **Configurar interrupción externa:** esta función permite configurar la interrupción externa "INT1" con un nivel alto de prioridad.
- **Configurar módulo SPI:** esta función permite configurar los valores de los registros del microcontrolador asociados al módulo SPI. Estos registros permiten establecer una frecuencia de reloj 156,250Khz, el modo del puerto (maestro-esclavo).

Una vez configurados todos los parámetros mencionados anteriormente, el módulo de control se encuentra listo para establecer comunicación con la estación remota, y por esta razón el módulo permanece como receptor.

2.4.2. RUTINA DE INICIACIÓN DE INTERRUPCIONES DE ALTA PRIORIDAD

Como se mencionó anteriormente las dos interrupciones que maneja el módulo de control son la del timer0 (TMR0) y la interrupción externa (INT1).

La arquitectura del microcontrolador permite definir dos niveles de prioridades para las interrupciones pero es posible aumentar la cantidad de sub - niveles al verificar una interrupción u otra. De este modo, aunque en principio las interrupciones de TIMER0 y externa son de alta prioridad, la interrupción del TIMER prima sobre la interrupción externa.

Esta rutina se encuentra en el vector de interrupciones del microcontrolador en la posición de memoria 0x08. En esta rutina se evalúa cual de las 2 interrupciones de alta prioridad, Timer timer0 (TMR0) y la interrupción externa (INT1); es la que está haciendo válido el estado de interrupción para posteriormente realizar la rutina correspondiente.

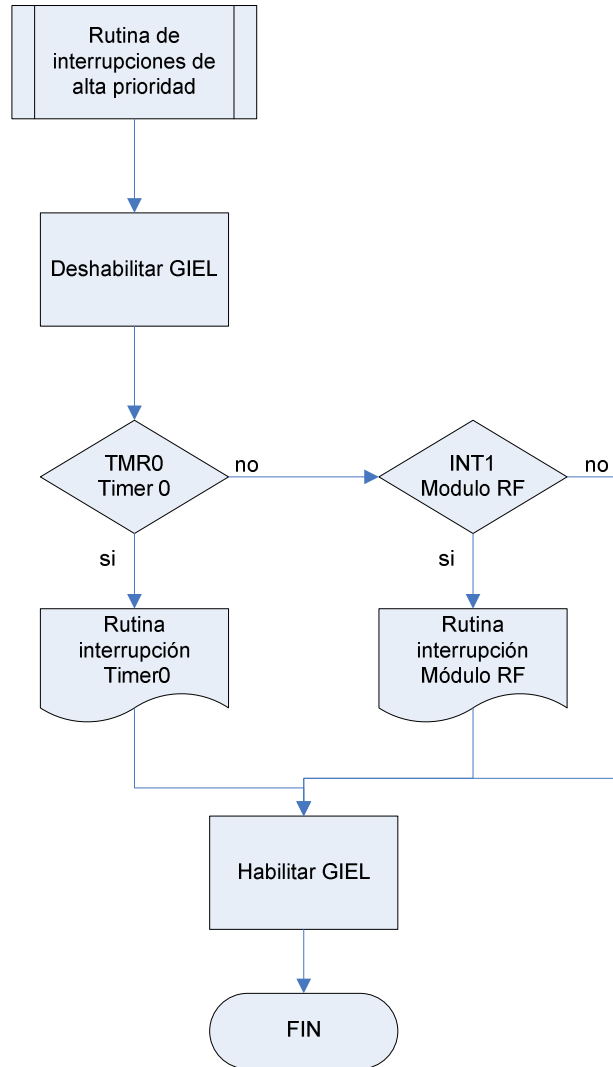
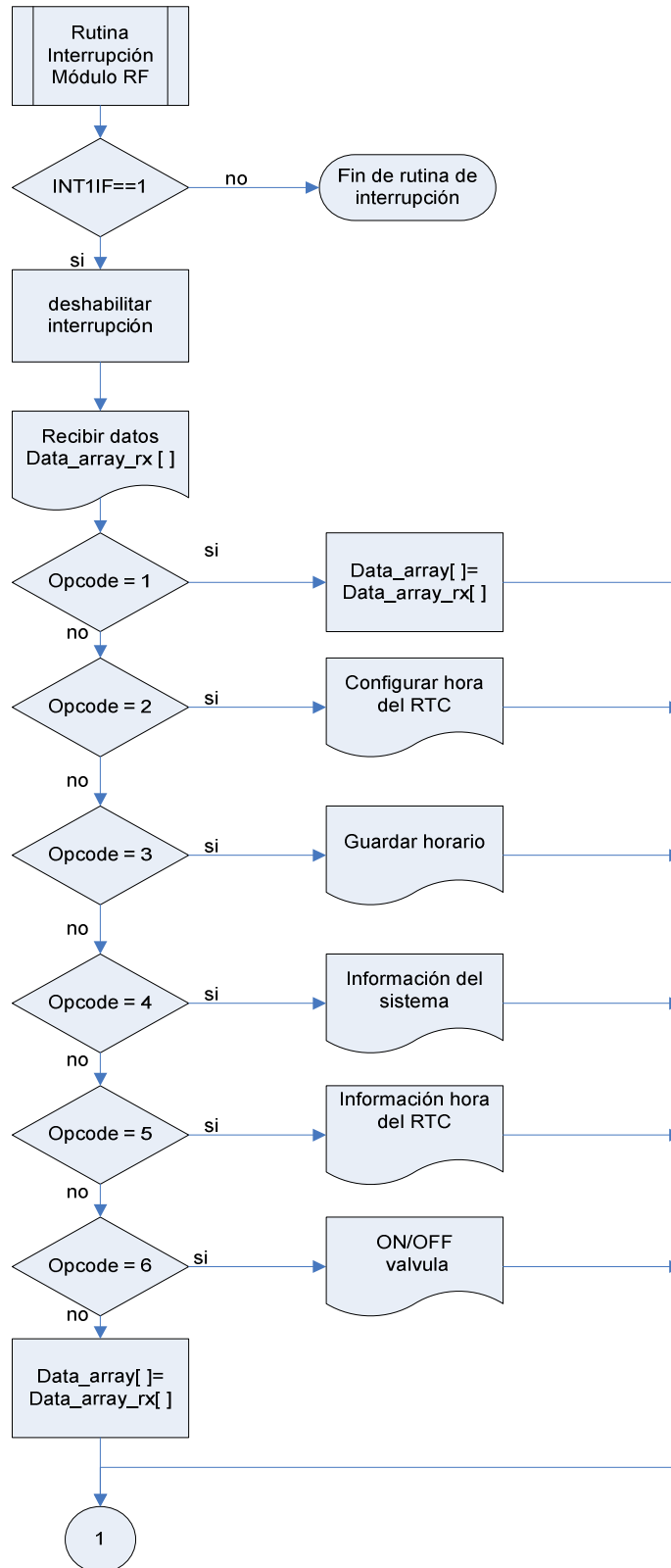


Figura 13. Rutina de interrupciones de alta prioridad

A continuación se describen las rutinas de atención de cada una de las interrupciones:

2.4.3. RUTINA DE INTERRUPCIÓN DE MÓDULO RF



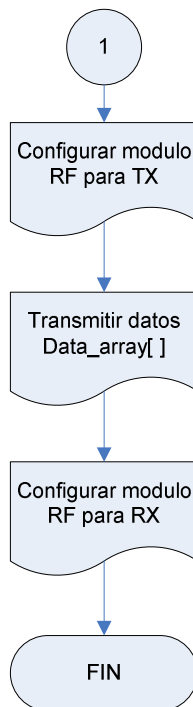


Figura 14. Rutina de interrupción de módulo RF

De acuerdo al funcionamiento del módulo inalámbrico TRF2.4GHZ, al estar configurado en modo de recepción, cuando este recibe un paquete válido de datos coloca el pin DR1 en alto lo cual permite notificar al microcontrolador la presencia de nuevos datos por lo tanto el pin DR1=1 es el que genera la Interrupción externa (INT1).

Una vez el microcontrolador es notificado de la presencia nuevos datos el paso siguiente es almacenarlos en memoria y de esta forma desocupar los registros del modulo RF, permitiendo así que este ultimo pueda recibir mas datos en próximas ocasiones.

La comunicación entre el modulo inalámbrico TRF2.4GHZ y el microcontrolador se realiza por el puerto SPI.

Como se mencionó anteriormente, la estación remota envía datos con una longitud de trama fija de 13 bytes, y teniendo en cuenta que el registro que recibe los datos de entrada serial (SDI) tiene 8 bits, sólo se pueden extraer datos del módulo RF en paquetes de un byte. El almacenamiento de datos en memoria se describe en la siguiente rutina:

2.4.4. RUTINA ALMACENAR DATOS EN MEMORIA

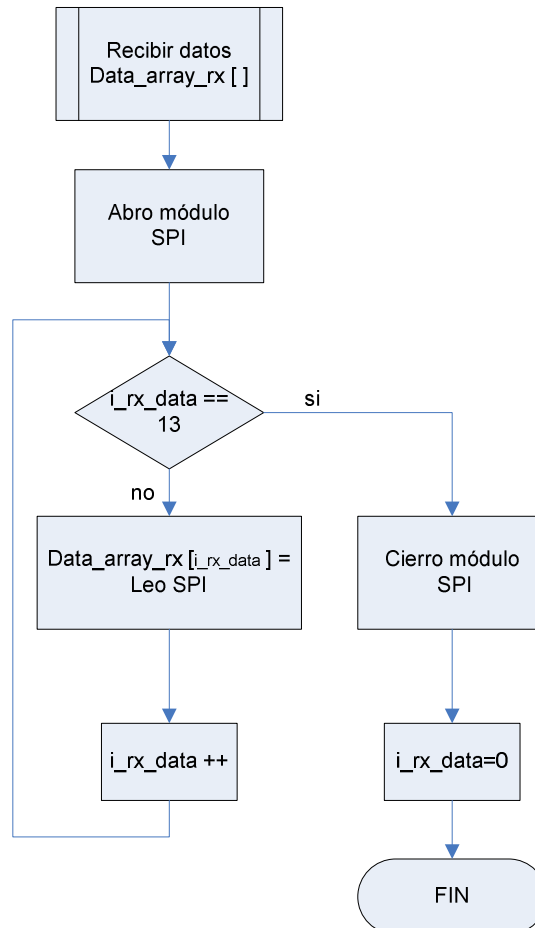


Figura 15. Rutina para almacenar datos en el microcontrolador

Una vez almacenados en el microcontrolador los datos enviados por la estación remota, se procede a decodificar y ejecutar la instrucción; esto se realiza al analizar el código de instrucción, el cual se encuentra en el primer byte de datos de la trama de 13 bytes recibida, y dependiendo del valor de este, el sistema tomará las acciones correspondientes.

De acuerdo al valor del código de instrucción, el microcontrolador ejecuta diferentes rutinas entre las cuales tenemos:

2.4.5. RUTINA DE CONFIGURAR HORA EN EL RTC

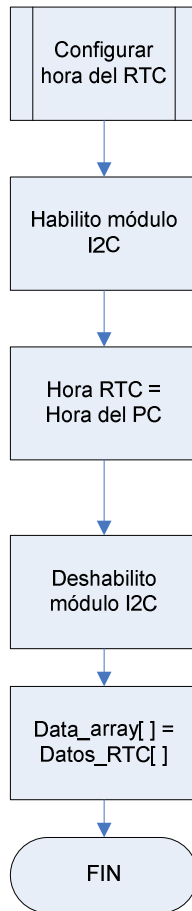


Figura 16. Rutina para configurar hora del RTC

Esta función se utiliza cuando se desea sincronizar la hora del RTC con la hora del computador.

2.4.6. RUTINA DE GUARDAR HORARIOS

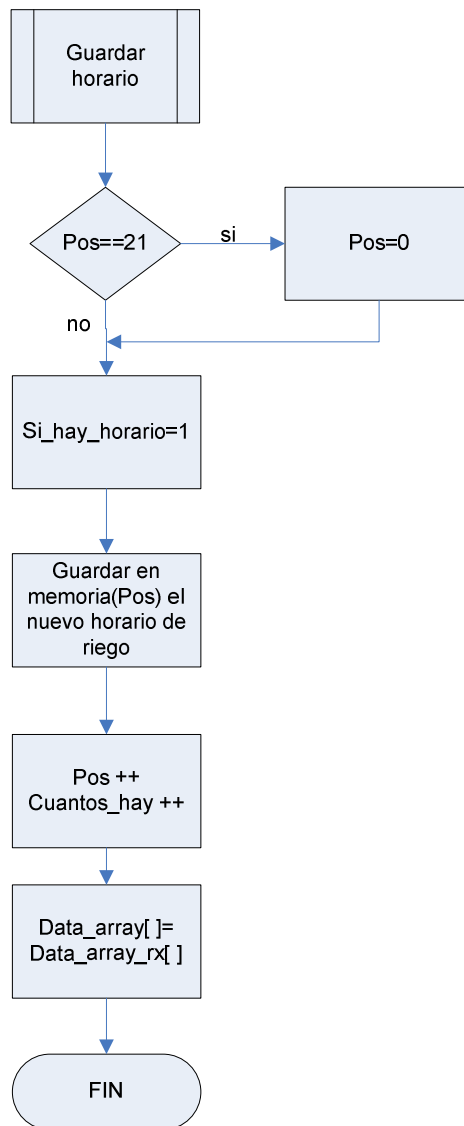


Figura 17. Rutina de guardar horario

En el microcontrolador se asigna un espacio de memoria formado por vectores 21 bytes de longitud para almenar cada horario de programación.

minuto_h_inicial[pos]
hora_h_inicial[pos]
dia_h_inicial[pos]
mes_h_inicial[pos]
year_h_inicial[pos]
minuto_h_final[pos]
hora_h_final[pos]
dia_h_final[pos]
mes_h_final[pos]
year_h_final[pos]

Tabla 15. Vectores de memoria

Cada vez que la estación remota envía una trama para almacenar horarios se incrementa una la variable “pos”, la cual permite llenar los vectores de memoria con los datos del nuevo horario.

2.4.7. RUTINA DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA

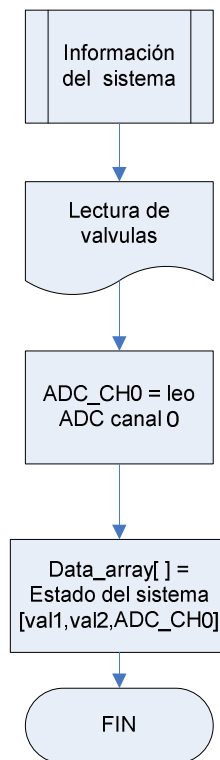


Figura 18. Rutina información del sistema

Con esta función se desea conocer el estado del sistema que incluye conocer el estado ON/OFF de las válvulas de riego y la medición de los sensores de humedad.

2.4.8. RUTINA LECTURA DE VÁLVULAS

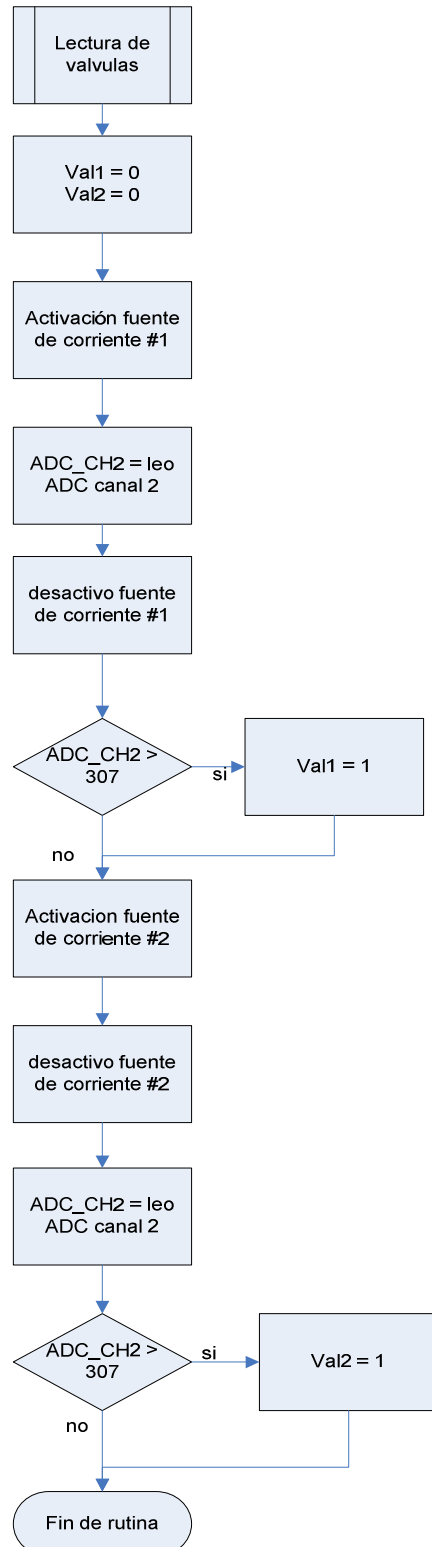


Figura 19. Lectura de válvulas

El anterior diagrama de flujo describe el procedimiento que permite conocer el estado de las válvulas de riego.

2.4.9. RUTINA INFORMACIÓN HORA DEL RTC

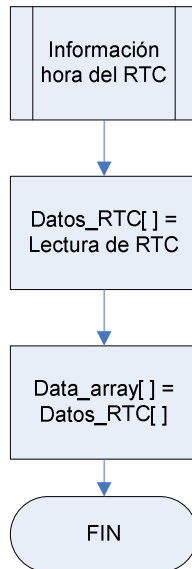


Figura 20. Información hora del RTC

Esta rutina fue creada para probar el estado del RTC y la sincronía que existe con el PC en un determinado momento.

2.4.10. RUTINA ON/OFF VÁLVULAS

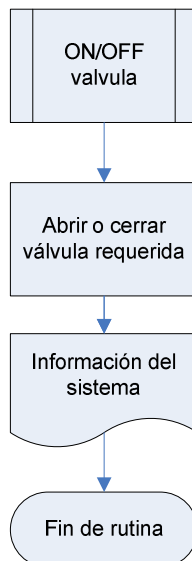


Figura 21. Rutina de encendido/apagado de válvulas

Esta rutina permite abrir ó cerrar una válvula específica según lo indique el usuario de la aplicación. Una vez cambiado el estado de la válvula, el microcontrolador toma los datos invernadero mediante la función “información

del sistema”, con el objetivo de enviar a la estación remota datos del nuevo estado del sistema.

Una vez decodificado y ejecutado el código de instrucción, el módulo de control envía a la estación remota una trama de datos que contiene la información requerida por esta.

La trama enviada debe contener inicialmente la dirección del modulo RF de la estación remota, a continuación debe contener los datos de información del sistema.

El proceso de envío de datos a la estación remota se encuentra a continuación:

2.4.11. RUTINA TRANSMITIR DATOS

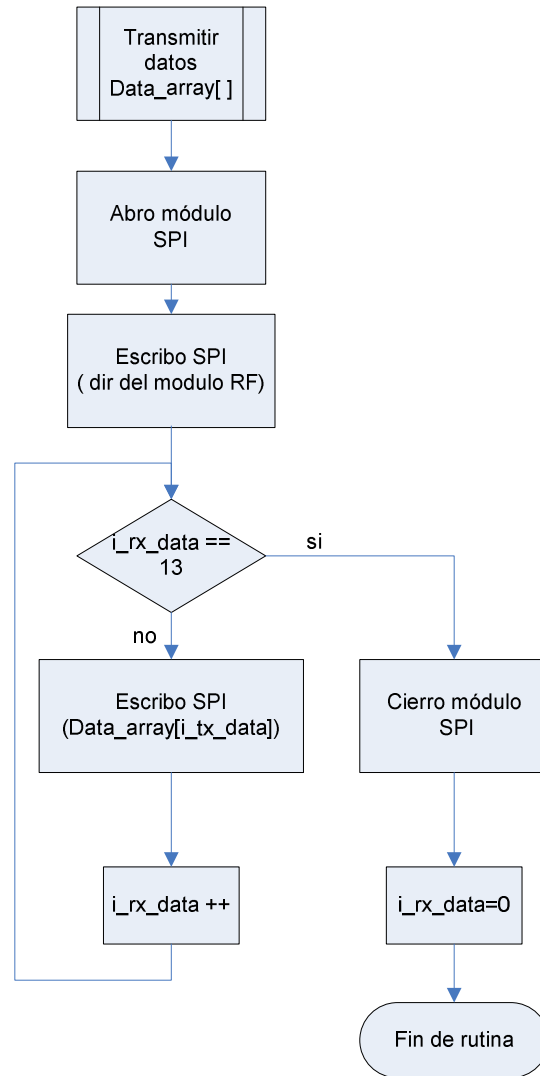


Figura 22. Rutina de transmisión de datos

2.4.12. RUTINA INTERRUPCIÓN DE MÓDULO DEL TIMER

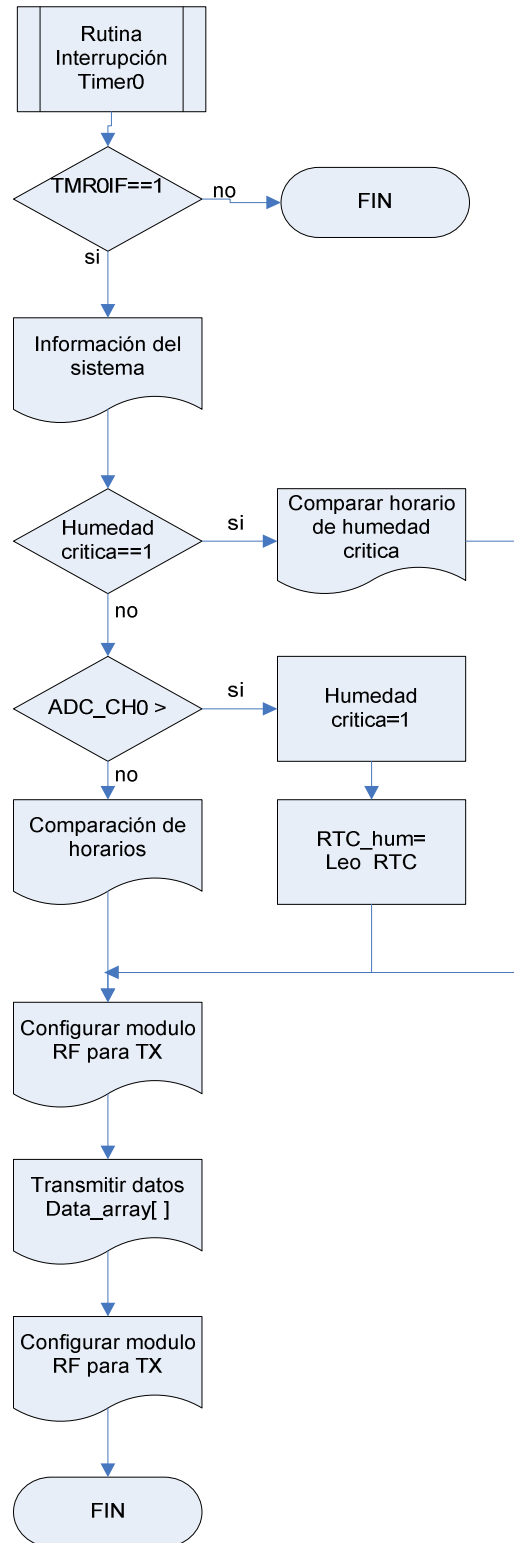


Figura 23. Interrupción del TIMER0

En el momento que interrumpa el timer, se realiza la rutina de información del sistema, con el objeto principalmente de conocer el nivel de humedad del suelo. Si el nivel de humedad es menor que E1 (hexadecimal para 225 binario) no se tiene en cuenta los horarios de riego programados, sino que inmediatamente se alza una bandera que indica que el sistema esta en humedad baja y debe ser regado. La próxima vez que interrumpa el timer detecta que esta bandera se encuentra en alto y comienza una rutina de riego, es decir abre una válvula a la vez durante 2 minutos. En el siguiente diagrama se muestra claramente lo explicado:

2.4.13. RUTINA HUMEDAD CRITICA

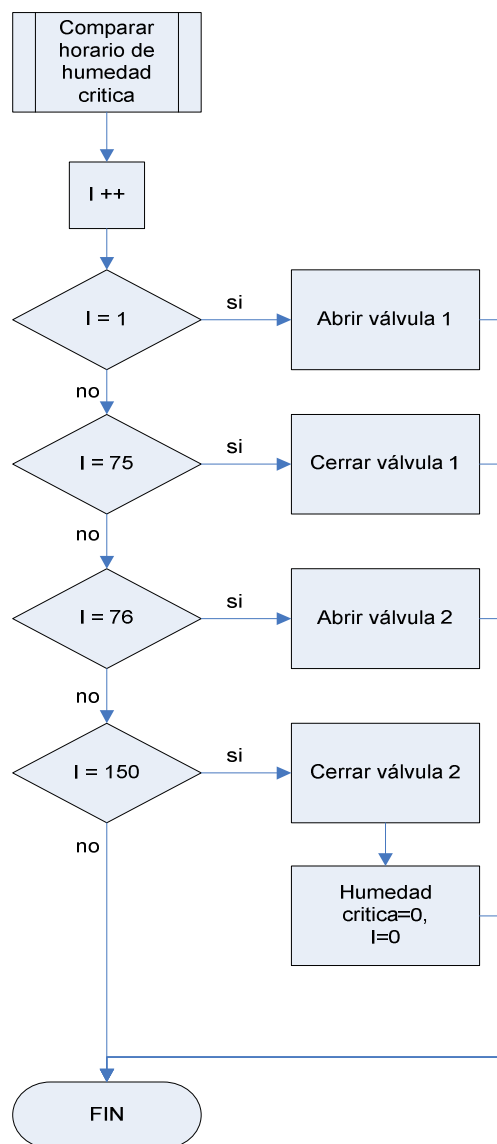


Figura 24. Comparar horario de humedad critica

2.4.14. RUTINA COMPARACIÓN DE HORARIOS

En caso que el nivel de humedad no sea crítica, el microcontrolador comparará la hora actual del RTC con el horario programado. Si las horas coinciden ejecuta el horario de riego, es decir se abre o se cierra la válvula correspondiente al horario programado. La variable “com” recorre el vector de memoria donde se encuentran almacenados los horarios y los datos de esta posición son comparados con la hora actual del RTC.

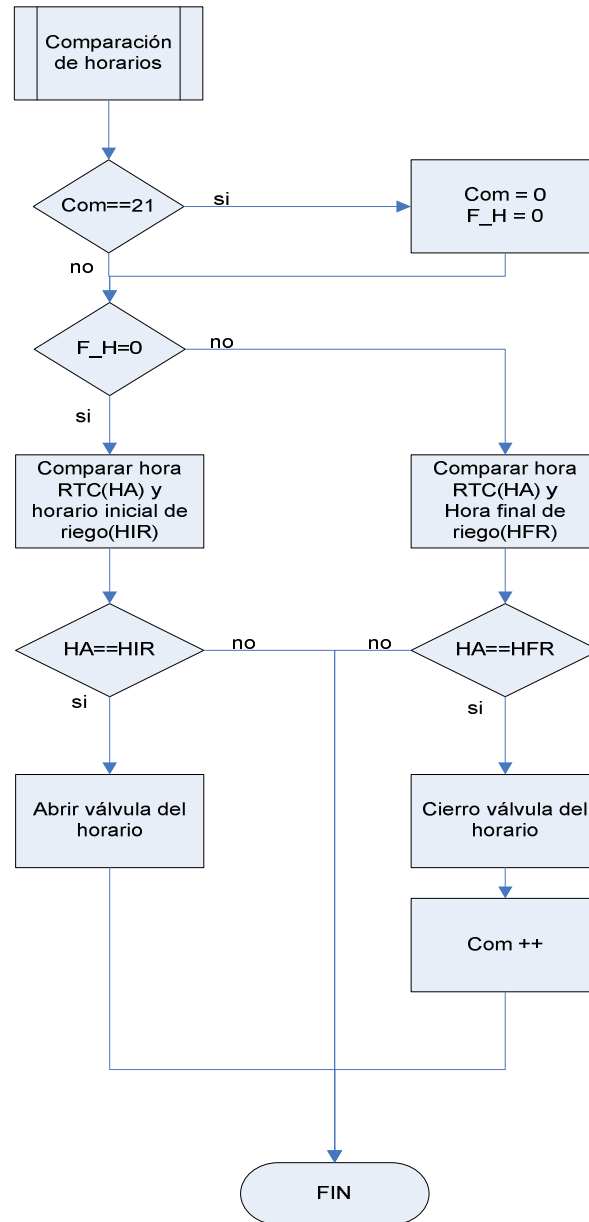


Figura 25. Comparación de horarios

2.5. DESARROLLO DE HARDWARE

La implementación del hardware se realizó según una metodología de trabajo basada en los siguientes aspectos:

1. Documentación
2. Diseño previo
3. Montaje
4. Pruebas por módulo o sección
5. Interconexión de bloques
6. Diseño de layout
7. Montaje y pruebas en circuito impreso

2.5.1. HARDWARE DEL MÓDULO DE CONTROL

El hardware del módulo de control esta conformado por los siguientes elementos.

2.5.1.1. Microcontrolador: PIC18F452

El microcontrolador combina diferentes aspectos tanto de hardware como de software, los cuales deben ser desarrollados en forma paralela. Por ejemplo, la implementación de los módulos internos demanda un estudio previo de sus características, modos de operación y parámetros de configuración por software, para así conseguir las especificaciones y funciones del hardware en general.

Como núcleo del proyecto se eligió un microcontrolador PIC18F452 teniendo en cuenta diferentes aspectos de gran relevancia como:

- Amplio set de instrucciones
- Cantidad de puertos I/O
- Módulos de Timer, ADC y puerto serial
- Capacidad de memoria (32kbytes Flash ROM y 512 bytes en RAM)
- Bajo costo y disponibilidad en el mercado
- Programadores de bajo costo
- Ambiente de programación de fácil acceso

A continuación se describen las características y parámetros configurados en el PIC18F452 según los módulos utilizados en el proyecto.

2.5.1.1.1. Clock Generator Module (CGMC)

Este módulo es quien determina la frecuencia de del bus de datos y señales de reloj. El PIC18F452 puede operar en 8 modos diferentes de oscilación, los cuales pueden ser seleccionados con tres bits de configuración (FOSC2, FOSC1, FOSC0), estos modos son:

- LP Low Power Crystal
- XT Crystal/Resonator
- HS High Speed Crystal/Resonator
- HS + PLL High Speed Crystal/Resonator with PLL enabled
- RC External Resistor/Capacitor
- RCIO External Resistor/Capacitor with I/O pin enabled
- EC External Clock
- ECIO External Clock

El modo elegido fue el High Speed Crystal/Resonador; en este modo un cristal debe ser conectado a los pines OSC1 y OSC2 del microcontrolador para que de esta forma se genere la oscilación. La siguiente figura muestra esta conexión:

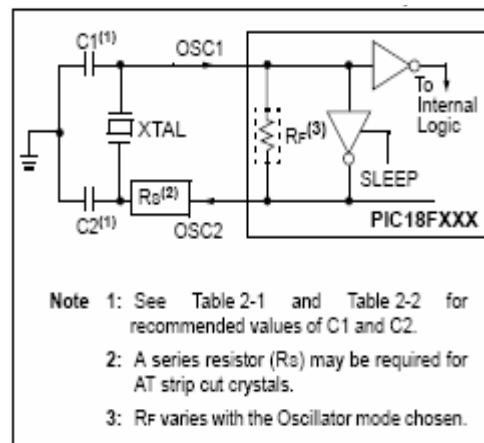


Figura 26. Conexión del cristal en el microcontrolador⁴

El cristal seleccionado fue de 10Mhz con lo cual se generan tiempos de instrucción de 400 ns (tiempo de instrucción = $4 / F_{OSC}$), permitiendo rápida ejecución de comandos. Del mismo modo, las señales de reloj para comunicarse con los dispositivos esclavos (RTC y módulo RF) especifican frecuencias máximas ó típicas. En el caso del RTC, la comunicación mediante el protocolo I2C, la frecuencia debe ser máximo 100 kHz y para la comunicación con el módulo RF se configuró una velocidad de 156 kHz. La frecuencia elegida

⁴ Manual del microcontrolador 18Fxxx, recurso disponible en www.microchip.com

permite un compromiso entre la alta velocidad de procesamiento y las señales de reloj y sus especificaciones.

La selección de los condensadores del circuito de la figura fue hecha de acuerdo a la siguiente tabla:

Ranges Tested:			
Mode	Freq	C1	C2
XT	455 kHz	68 - 100 pF	68 - 100 pF
	2.0 MHz	15 - 68 pF	15 - 68 pF
	4.0 MHz	15 - 68 pF	15 - 68 pF
HS	8.0 MHz	10 - 68 pF	10 - 68 pF
	16.0 MHz	10 - 22 pF	10 - 22 pF

Tabla 16. Rango de valores de frecuencia y capacitancia

Al ser la frecuencia del cristal de 10Mhz, nos ubica al micro en el modo HS que nos permite elegir C1=22pFy C2=22pF.

2.5.1.1.2. Master Synchronous Serial Port module (MSSP)

El Módulo MSSP es una interfaz serial usada por el microcontrolador para la comunicación con otros periféricos. Este módulo puede operar en dos modos:

Serial Peripheral Interface (SPI):

El puerto de comunicación del módulo de control se implementó con módulo MSSP configurado en modo SPI, el cual permite una comunicación asíncrona a diferentes tasas de transmisión. Este puerto es utilizado para la comunicación entre el microcontrolador y el módulo TRF2.4GHZ.

El modo SPI permite una comunicación simultánea, es decir el microcontrolador puede enviar y recibir datos al mismo tiempo ya que tiene un pin para entrada de datos y otro para el envío de estos. Los pines del SPI son:

- Serial Data Out (SDO)
- Serial Data In (SDO)
- Serial Data Clock (SDO)

Para la configuración del modo SPI, el módulo cuenta con 4 registros a saber:

- MSSP Control Register1 (SSPCON1)
- MSSP Status Register (SSPSTAT)
- Serial Receive/Transmit Buffer (SSPBUF)
- MSSP Shift Register (SSPSR)

La rutina “*configurar módulo SPI*” configura los registros *sspcon1* y *sspstat*, los cuales controlan el estado de operación en modo SPI.

SSPSTAT: MSSP STATUS REGISTER (SPI MODE)

SMP	CKE	D/A	P	S	R/W	UA	BF
0	1						0

bit7 bit 0

Tabla 17. Configuración del registro SSPSTAT

Los valores de SMP y CKE proporcionan las características de muestreo y del reloj respectivamente. En este caso el SMP=0 permite que el microcontrolador reciba los datos en la mitad del tiempo del reloj y el CKE=1 determina que los datos serán transmitidos en el borde de subida de la señal de reloj. El BF es una bandera que avisa que se recibieron los datos completos, es decir el registro *SSPBUF* esta lleno. Los bits que se encuentran en las casillas de color azul, solo se utilizan para la configuración del módulo MSSP en modo I2C.

SSPCON1: MSSP CONTROL REGISTER1 (SPI MODE)

WCOL	SSPOV	SSPEN	CKP	SSPM3	SSPM2	SSPM1	SSPM0
0	0	1	0	0	0	1	0

Bit7 Bit0

Tabla 18. Configuración del registro SSPCON1

El bit SSPEN=1 habilita el Puerto serial del microcontrolador y configura los pines SCK, SDO como salidas y el pin SDI como entrada.

El bit CKP determina la polaridad del reloj, en este caso CKP=0 coloca la salida del reloj en bajo cuando este no esta siendo utilizado.

Los bits 3-0 SSPM3:SSPM0 determinan el modo del puerto y la frecuencia del reloj. Se eligió una frecuencia de reloj de 156,250Khz; debido a que el microcontrolador proporciona las señales de reloj que permiten recibir o enviar datos, el debe ser configurado en modo maestro. Lo anterior se obtiene definiendo SSPM3:SSPM0=0010.

Los bits CKE y CKP mencionados anteriormente determinan el modo del módulo.

SPI Mode	CKP	CKE
0,0	0	1
0,1	0	0
1,0	1	1
1,1	1	0

Tabla 19. Selección del modo de SPI

De la anterior tabla la anterior tabla y a los valores asignados a CKE y CKP, podemos ver que el modo implementado es 0,0. Este modo permite una mejor comunicación con el módulo TRF2.4GHZ, evitando pérdida de datos en el momento de enviar o recibir.

SSPBUF Y SSPSR:

El registro SSPSR es en registro de corrimiento que en unión con el registro SSPBUF crean un doble buffer para recibir los datos. En el SSPBUF se almacenan los datos para poder ser leídos.

De la configuración de los registros del módulo MSSP para modo SPI podemos resumir los siguientes parámetros:

Característica	Valor
Frecuencia de reloj	156,250Khz
Modo del puerto	Master
SPI mode	0,0

Tabla 20. Parámetros SPI

Como se mencionó anteriormente, el puerto SPI consta de 2 pines de datos: Serial Data Out (SDO) y Serial Data In (SDI), cuyas funciones son recibir y transmitir datos respectivamente. Debido a que el módulo RF solo posee un pin de recepción / transmisión, fue necesario utilizar un buffer tri-state, el cual tiene como función controlar el flujo de datos entre el microcontrolador y el módulo RF y de esta forma evitar colisiones o pérdida de datos.

El buffer tri-state utilizado es el 74HC125.

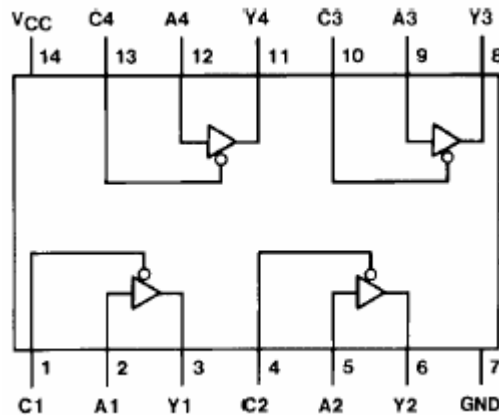


Figura 27. Buffer Tri-State 74HC125

Como podemos ver en la figura, las señales de control del buffer son activadas en bajo. El encargado de generar estas señales es el microcontrolador, el cual controla la comunicación.

Inter-Integrated Circuit (I²C):

El módulo MSSP configurado en el modo I²C permite la comunicación entre el microcontrolador y Real Time Clock. Esta elección se realizó teniendo en cuenta que en el RTC la programación y lectura de datos se encuentra implementada con el protocolo I²C.

En esta configuración, el microcontrolador utiliza dos pines para la transferencia de datos, estos pines son:

- Serial Clock (SCL)
- Serial Data (SDA)

Para la configuración del modo I²C, el módulo cuenta con cuatro registros, estos son:

- MSSP Control Register1 (SSPCON1)
- MSSP Control Register2 (SSPCON2)
- MSSP Status Register (SSPSTAT)
- Serial Receive/Transmit Buffer (SSPBUF)
- MSSP Shift Register (SSPSR)
- MSSP Address Register (SSPADD)

Para poder abrir el módulo I2C fue necesaria la siguiente configuración:

SSPCON1: MSSP CONTROL REGISTER1 (I2C MODE)

WCOL	SSPOV	SSPEN	CKP	SSPM3	SSPM2	SSPM1	SSPM0
0	1	1	0	1	0	0	0
Bit 7				Bit0			

Tabla 21. Configuración del registro SSPCON1

El bit SSPOV=1 indica cuando exista overflow, es decir el registro SSPBUF tiene almacenado el dato anterior y necesita ser clareado, el bit SSPEN=1 habilita el puerto serial y configura los pines SDA y SCL como pines del puerto serial.

Los bits 3-0 SSPM3:SSPM0=1000 habilita el MSSP en modo I2C master.

SSPADD: MSSP Address Register

Determina el valor de la señal de reloj del puerto basado en la formula:

$$FOSC / (4 * (SSPADD+1)).$$

El registro *SSPADD* toma el siguiente valor:

0	0	1	1	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

De los cálculos realizados con la anterior formula y con el valor dado al SPPAD, se obtiene que una frecuencia de reloj igual a 50KHZ.

De la configuración de los anteriores registros del módulo MSSP para modo I2C podemos resumir los siguientes parámetros:

Característica	Valor
Frecuencia de reloj	50Khz
Modo del puerto	Master

Tabla 22. Parámetros SPI

2.5.1.1.3. Analog – To - Digital Converter (ADC)

El A/D es un módulo del microcontrolador, que permite realizar conversiones de señales análogas en una valor digital de 10 bit.

El conversor ADC tiene dos funciones en el sistema de control:

- Mediciones de humedad del terreno
El módulo ADC fue utilizado para tomar las mediciones análogas que se obtienen de los sensores de humedad del suelo y convertirlos en valores digitales, al ser analizados estos últimos permiten al módulo realizar las acciones de control necesarias o simplemente enviar estos datos a la estación remota.
- Comprobación del paso del agua por las válvulas
Fue necesario hacer uso del ADC para determinar si por una válvula específica esta pasando agua o no. La función del ADC es recibir el valor de voltaje en una resistencia de monitoreo, convertirlo a un valor digital y de esta forma ser analizados y determinar si por la válvula esta pasando agua o no.

Para cumplir con las dos funciones descrita anteriormente se usan dos canales del ADC, un canal del por cada función. De esta forma el canal 0 del ADC maneja las mediciones de la humedad del suelo y el canal 2 maneja las mediciones para la comprobación del paso de agua por las válvulas.

Para la configuración y lectura del conversor ADC, este cuenta con cuatro registros, los cuales son:

- A/D Result High Register (ADRESH)
- A/D Result Low Register (ADRESL)
- A/D Control Register 0 (ADCON0)
- A/D Control Register 1 (ADCON1)

ADCON0: A/D CONTROL REGISTER 0

ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
0	1	0	0	0	0	0	0
Bit 7						Bit 0	

Tabla 23. Configuración del registro ADCON0

Los valores de los bits ADC y CHS permiten seleccionar el valor del reloj y del canal análogo de entrada del ADC respectivamente.

Los bits ADCS1:ADCS0=01 configuran el valor del reloj a 625 Khz, CHS2:CHS0=000 selecciona el canal 0 como entrada análoga del ADC, para seleccionar el canal 2 del ADC solo se cambia este valor a CHS2:CHS0=010

ADCON1: A/D CONTROL REGISTER 0

ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
1	1			1	0	1	0

Tabla 24. Configuración del registro ADCON1

ADFM=1 los 6 bits más significativos del ADRESH son rellenados de 0, ya que no contienen datos validos de conversión, los bits PCFG3:PCFG0 son los que controlan la configuración del puerto del A/D, después de varios análisis se eligió el valor de PCFG3:PCFG0= 1010 ya que es una de las configuraciones que nos proporcionan mayor número de entradas análogas que en el futuro podrían ser usadas para manejar un total de 5 sensores de humedad.

ADRESH Y ADRESL

En estos dos registros es donde se guarda el resultado de la conversión del ADC. Cada registro es de 8 bits y al ser el ADC un conversor de 10 bits quedan libres 6 bits los cuales toman el valor de cero. Para realizar la lectura del ADC se debe tener en cuenta que se eligieron los 6 bits más significativos del ADRESH como datos no validos.

De la configuración de los anteriores registros del conversor A/D podemos resumir los siguientes parámetros:

Característica	Valor
Frecuencia de reloj	625Khz
Canales de conversión	CH0,CH2

Tabla 25. Parámetros ADC

2.5.1.1.4. Timer 0

El timer 0 es un módulo utilizado para mantener una constante comunicación entre el microcontrolador y el RTC (Real Timer Clock) con el objetivo de dar cumplimiento a la programación de horarios de riego que están almacenados en la memoria del microcontrolador.

Para la configuración del timer 0 se cuenta con el siguiente registro:

T0CON

Este es un registro de lectura y escritura que controla todos los aspectos del TIMER 0.

TMON	T08BIT	T0CS	T0SE	PSA	T0PS2	T0PS1	T0PS0
1	0	0	0	0	1	0	0
Bit 7							Bit 0

Tabla 26. Configuración del registro T0CON

Los valores asignados al anterior registro permiten una configuración del contador de 16 bits, con una pre-escalizador de 0:32, manejado por el reloj interno del microcontrolador, lo que resume en conteos de 0.83 segundos.

Cada 0.83 segundos el timer interrumpe activando la rutina “interrupción de módulo del TIMER” (ver figura 26).

2.5.1.1.5. Distribución Detallada Del Microcontrolador

El microcontrolador escogido tiene 5 puertos entrada / salida y cada uno de ellos puede ser configurado de diferentes maneras para utilizar los periféricos.

Los puertos del PIC18F452 fueron configurados de la siguiente manera:

- **PORT-A:** Este puerto tiene 6 pines (identificados desde RA0 hasta RA5). Los pines RA0 y RA2 son configuradas como entradas de sensor de humedad. El resto de pines esta libre para propósitos generales.
- **PORT-B:** Este puerto tiene 8 pines. Los terminales RB0, RB1 y RB2 son declarados como entradas, y son los encargados de recibir las interrupciones externas⁵, que para este caso solo se utiliza el RB1, el cual recibe maneja la interrupción del módulo RF (INT1). El resto de pines del puerto son declarados como salida y tienen las siguientes funciones: RB3 y RB4 son las salidas que manejan la fuentes de corrientes del circuito de supervisión del estado ON/OFF de las válvulas.
- **PORT-C:** Este puerto tiene 8 pines, sin embargo, internamente puede cumplir muchas más funciones entre las cuales se destacan: la comunicación entre periféricos utilizando el protocolo serial I²C y el SPI. RC3 y RC4 son los encargados de la transmisión I²C y SPI.
- **PORT-D:** Este puerto tiene 8 pines (identificados desde RD0 hasta RD7)
- **PORT-E:** Este puerto tiene 3 pines. RE0 y RE1 son usados como salidas

⁵ Aunque en el manual del microcontrolador está mucho más explícito, es importante mencionar que internamente el PIC multiplexa funciones de hardware, es decir, un mismo terminal puede ser declarado como entrada/salida, fuente de interrupción, pin de comunicación, etc.

2.5.1.1.6. Hardware De Salidas Digitales

Con el fin de cubrir diferentes funciones de control y supervisión en el módulo de control, se implementaron dos tipos de salidas:

2.5.1.1.7. Salidas Digitales Tipo Relé

Como se menciona anteriormente la programación del módulo de control fue diseñada para el control de la apertura y cierre de 2 válvulas de riego del invernadero. Para la implementación de esto se diseñó un circuito para cada salida digital tipo relé que consta de una fuente de corriente, 1 driver y un relé.

La conmutación del relevo permite abrir o cerrar las válvulas. Dado que el relevo es un dispositivo que necesita más corriente que la que puede suministrar el microcontrolador es necesario adicionar un circuito que le proporcione dicha corriente, es por esto que se hizo necesario implementar un circuito manejador “driver” el cual a su vez estará controlado por el nivel de salida del microcontrolador. La salida del microcontrolador activa una fuente de corriente que controlará el estado del driver.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques del circuito total utilizado para la implementación de la salida digital tipo rele:

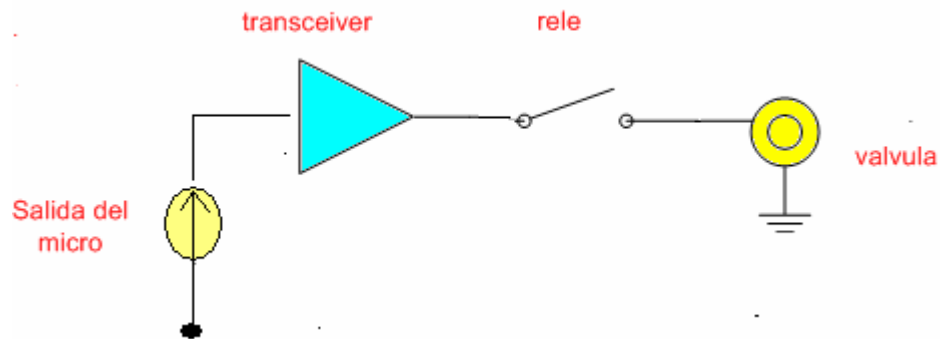


Figura 28. Salida digital tipo relé (esquema general)

El desarrollo de la sección de “drivers” para la conmutación de relevos se realizó probando dos tipos de transistores. En primera instancia se usaron BS170 por sus características de alta velocidad de conmutación y consumo de corriente de Gate. En un segundo diseño se implementaron drivers con Mosfet, 2N7000. Para los dos casos el funcionamiento fue correcto, aunque el costo del segundo es menor.

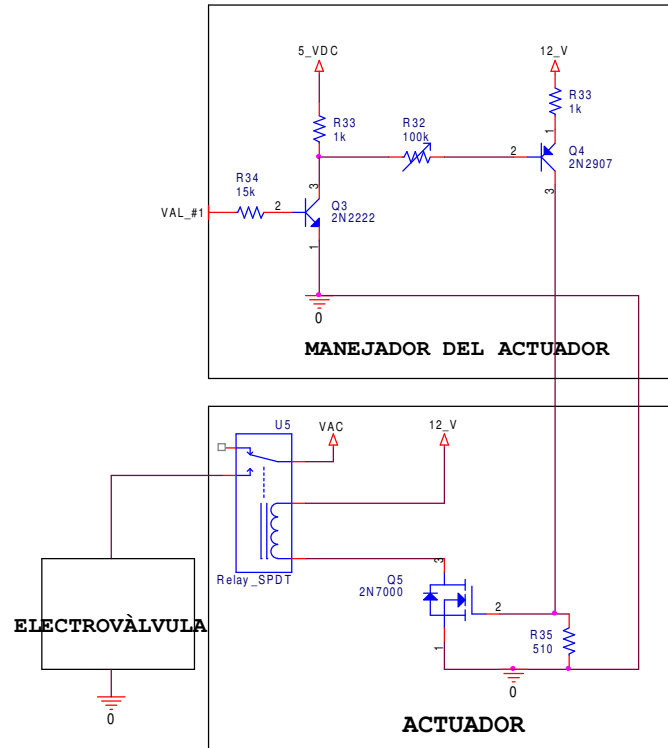


Figura 29. Esquema eléctrico de salida digital tipo relé

La programación del microcontrolador fue hecha para que controle dos válvulas de riego, es decir se configuraron 2 salidas tipo relé; pero el microcontrolador tiene disponible 3 salidas más que podrían ser usadas para este propósito.

2.5.1.1.8. Salidas Digitales De Supervisión

Una de las funciones del sistema IRRIGATION version1.0 es la supervisión del estado de las válvulas de riego ubicadas alrededor del invernadero. Para esto se implementó un circuito que consta básicamente de fuentes de corriente que serán las encargadas de comprobar el paso del agua por las válvulas.

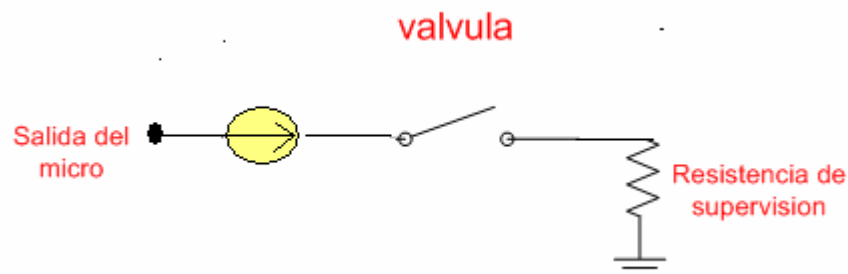


Figura 30. Circuito de supervisión (esquema)

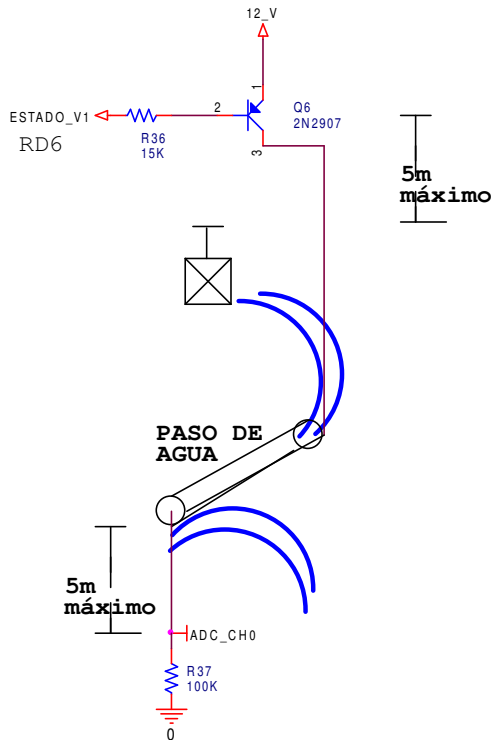


Figura 31. Esquema eléctrico para salida digital de supervisión

El agua será la encargada de cerrar la trayectoria para que la resistencia sea alimentada por la fuente de corriente y de esta forma indicar el estado ON de la válvula.

2.5.2. HARDWARE DEL MÓDULO DE LA ESTACIÓN REMOTA

El hardware de la estación remota esta conformado por los siguientes elementos.

2.5.2.1. Microcontrolador: PIC18F252

La función de este controlador consiste en servir de puente entre el PC donde se encuentra almacenada la aplicación y el módulo inalámbrico.

Para cumplir lo anterior se eligió el microcontrolador PIC18F252. Este es un microcontrolador mas pequeño que PIC18F452, pero que al igual que este, esta formado por un módulo MSSP y el módulo USART, que son los requerimientos necesarios para el circuito de la estación remota.

A continuación se describen las características y parámetros configurados en el PIC18F252 según los módulos utilizados:

2.5.2.1.1. USART Asynchronous Mode

La comunicación entre el PC y el microcontrolador se realiza por comunicación serial RS-232. El microcontrolador posee el módulo de USART, que hace posible esta comunicación.

TXSTA: TRANSMIT STATUS AND CONTROL REGISTER

CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D
0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 27. Configuración del registro TXSTA

TX9=0 permite la selección de una trama fija de 8 bits para la transmisión de datos por el puerto rs232, SYNC=0 configura un modo asíncrono de transmisión.

RCSTA: RECEIVE STATUS AND CONTROL REGISTER

SPEN	RX9	SREN	CREN	ADDEN	FERR	OERR	RX9D
0	0	0	0	1	0	1	0

Tabla 28. Configuración del registro RCSTA

SPEN=1 habilita el Puerto serial, es decir configura los pines RX/DT y TX/CK del microcontrolador como pines para el Puerto serial. RX9=0 configura una trama fija de 8 bits para la recepción de datos.

SPBRG: Baud Rate Generator Register

0	0	0	0	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Tabla 29. Configuración del registro SPBRG

Los valores binarios de este registro permiten asignarle un valor decimal al SPBRG de 10, con este valor se obtiene una velocidad de transmisión de 57.6Kbps. Inicialmente este valor decimal del SPBRG era de 64, de lo que obteníamos una velocidad de transmisión de 9.6 Kbp, después de realizar varias pruebas de comunicación se encontró que con una velocidad de transmisión de 57.6Kbps la tasa de error es menor.

El protocolo RS232 de comunicación requiere niveles de voltajes de -12 V (nivel lógico 1) y 12 V (nivel lógico 0), por lo cual se debe usar un transceiver⁶, que convierte los niveles lógicos del microcontrolador a los que necesita el PC.

⁶ Para el transceiver se usa el MAX 232, especial para este tipo de aplicación.

2.5.2.1.2. Master Synchronous Serial Port Module (MSSP)

En la interfaz remota solo se uso este módulo de comunicación configurado en el modo SPI (Serial Peripheral Interface).

Al igual que en el módulo de control, este puerto es utilizado para la comunicación entre el microcontrolador y el módulo TRF2.4GHZ y por lo tanto es configurado de la misma forma que el PIC18F452.

2.5.2.2. Criterios De Diseño De Circuito Impreso

EL diseño del circuito impreso, es otro factor importante para la reducción de ruido en un circuito. Es necesario elaborar un Layout que cuente con planos de tierra y fuente para cada sección. De igual forma, según recomendaciones de fabricantes es útil realizar pistas de mayor calibre y pequeños planos en los pines de conexión de polarización, si es el caso, para cada integrado. De esta forma se tuvo especial cuidado en tener la mayor área posible para planos tanto de tierra digital como análoga y sus respectivas fuentes, tratando en lo posible de circundar el circuito brindando un mayor blindaje.

La disposición de los elementos sobre la tarjeta del circuito impreso obedece a las siguientes reglas:

- Señales de reloj y datos ubicadas lejos de los caminos de alimentación
- Caminos de alimentación con un mayor diámetro que el resto de las pistas de la tarjeta
- Cada circuito integrado del circuito cuenta con desacople de fuente conformado por dos condensadores (uno para baja frecuencia y otro para alta frecuencia)
- Planos de tierra que circundan la tarjeta del impreso en la parte superior y la parte inferior

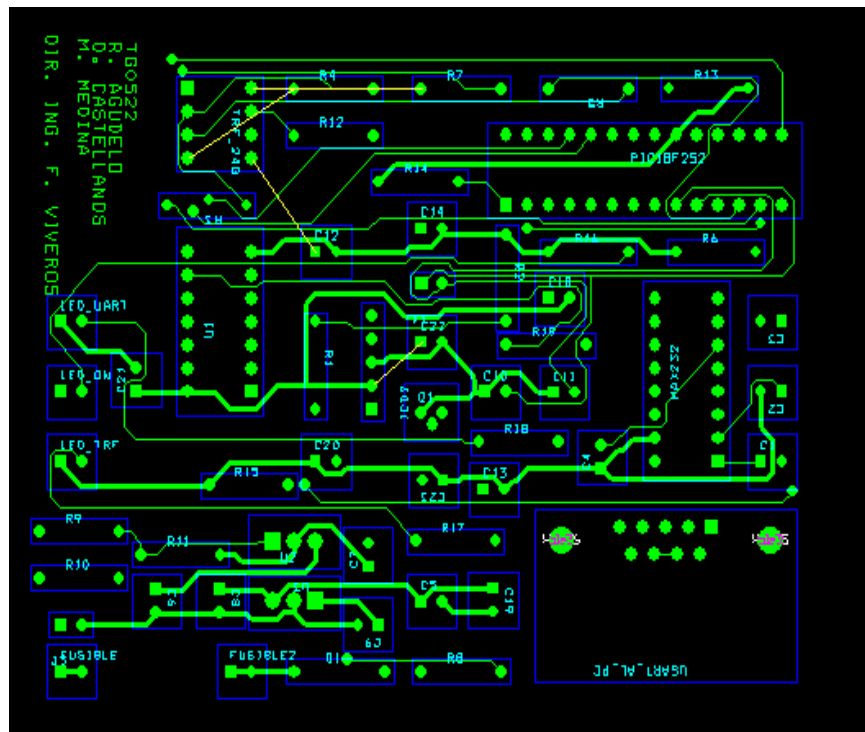
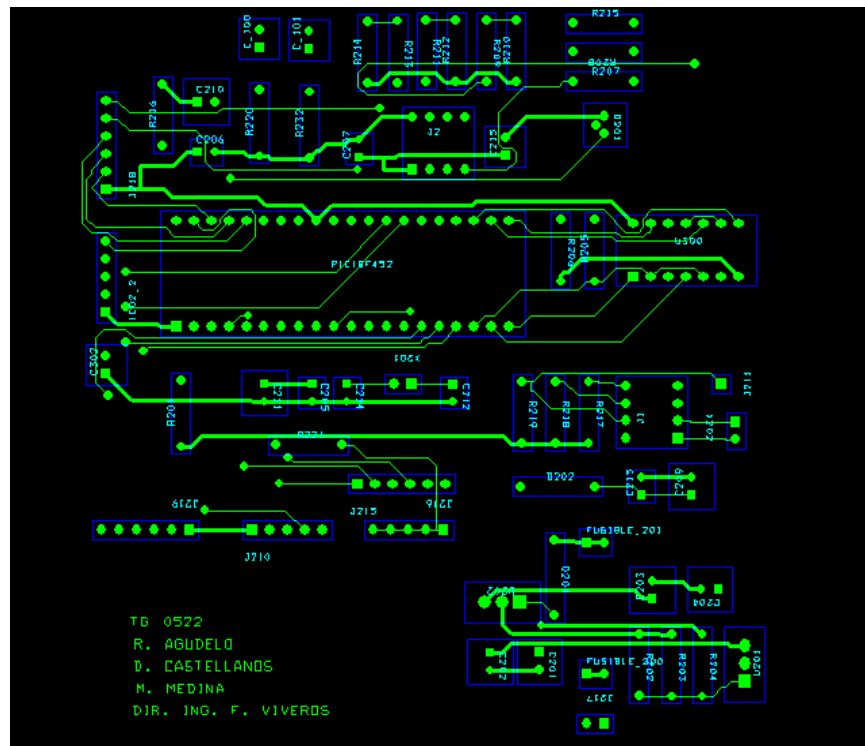


Figura 32. Diseño de tarjeta en Layout de OrCAD ®

3. ANALISIS DE RESULTADOS

Las pruebas realizadas se basaron en 3 etapas; la primera permite probar los periféricos del sistema, la segunda etapa se basó en pruebas de distancia de los módulos RF y finalmente se probó el sistema completo haciendo uso de la aplicación IRRIGATION versión 1.0

3.1. PRIMERA ETAPA

El sistema cuenta con dos periféricos: módulo RF y el RTC.

- **Módulo RF:** Una vez adquiridos los módulos RF, se implementaron en cada uno de los microcontroladores rutinas de configuración de los parámetros necesarios para establecer comunicación entre los módulos y de esta forma poder observar como se comportaban y si se comunicaban correctamente. Las pruebas del funcionamiento consistieron en enviar datos tanto de la estación remota al módulo de control, como del módulo de control a la estación remota. Esto se realizó haciendo uso del programa Comport ToolKit⁷, la cual era una aplicación en la que se podía observar los datos enviados de un módulo a otro. Las rutinas de los microcontroladores se programaron de tal forma que los datos que recibían eran devueltos iguales. Esta prueba fue realizada durante varios días, cambiando la longitud de las tramas y el valor de los datos enviados de lado a lado; los resultados fueron los esperados ya que la transmisión y recepción se realizaba exitosamente (la tasa de error es inferior a 1%, pero dada la actualización permanente de 1.25 Hz no es representativa para la aplicación).
- **RTC:** las pruebas realizadas con este periférico consistían en programar el RTC con una hora inicial, luego se programaba un timer que cada vez que interrumpía, el microcontrolador leía la hora del RTC y al enviaba al PC. La idea era dejar el encendido el sistema toda la noche y al día siguiente comprobar si el RTC está sincronizado con el PC. Los resultados fueron los esperados, se notó una pequeña diferencia (oscilaba entre 2 y 5 segundos) entre la hora del PC y la del RTC, por lo cual en el sistema IRRIGATION, hace una sincronización para igualar la hora del RTC a la del PC y evitar que la diferencia aumente.

⁷ Comport ToolKit es un programa que permite el envío y recepción de datos haciendo uso del puerto RS-232.

3.2. SEGUNDA ETAPA

La segunda etapa consistió en realizar pruebas de distancias entre los módulos. Inicialmente estas pruebas fueron realizadas en los pasillos de la facultad, pero al estar rodeado de muchas paredes no se podía observar el alcance real de los módulos, con estas pruebas se obtuvieron distancias de aproximadamente 10 metros. Posteriormente las pruebas de distancia fueron realizadas en el invernadero donde se implantará el sistema IRRIGATION. Al ser el invernadero un espacio al aire libre era fácil lograr que los módulos tuvieran línea de vista. En esta última prueba se pudo obtener un alcance de 50 metros. El desempeño logrado por el dispositivo en cuanto a distancia, aunque es satisfactorio, no es representativo para el área de un cultivo donde cada bloque puede tener 2500 m² aproximadamente.

3.3. TERCERA ETAPA

Finalmente se probó el sistema completo haciendo uso de la aplicación IRRIGATION versión 1.0.

Esta etapa fue la que devengó más tiempo, ya que consistía en probar el funcionamiento total de sistema IRRIGATION.

Las pruebas que se realizaron permitían probar la interacción entre la estación remota y el módulo de control; entre las pruebas realizadas se encuentran:

- Horarios programados: Se almacenaron horarios en la estación remota, se modificaba un horario guardado y se verificaba el cumplimiento de esta programación en el modulo de control.
- En la interfaz se cambiaban el estado de las válvulas, se verificaba que este estado cambiara en el modulo de control y que se actualizara los valores del estado de las válvulas en la interfaz.
- Se pidió a compañeros del cubículo de trabajo de grado que intentaran manejar la aplicación, para que dieran sugerencias o comentarios

Los resultados de estas pruebas fueron satisfactorios mostrando que el sistema funcionaba correctamente.

Aunque la aplicación puede ser de fácil manejo (botones con nombres apropiados), es necesaria una adecuada introducción al manejo de la interfaz y, haciendo uso del manual de usuario de ésta, se puede lograr que una persona con un nivel de manejo de computadores medio esté en la capacidad de supervisar y controlar el sistema de riego de un invernadero. Se evaluaron dos

sistemas operativos (Windows 2000 y Windows XP) para verificar el correcto funcionamiento de la aplicación desarrollada en Delphi, obteniendo en ambos casos resultados positivos.

Las pruebas iniciales sobre el módulo de control no contaban con el sensor de humedad, dispositivo exclusivo del cultivo donde se implementó el sistema. Su respuesta se simulaba empleando una fuente de corriente variable. Al realizar la conexión del sistema con el sensor de humedad, se encontraron los siguientes problemas:

- Dependiendo de la profundidad a la que estaba enterrado el sensor, la medida variaba sobre un mismo terreno (entre más profundo, mayor era la medida de humedad).
- El proceso de calibración del sensor es complicado (ubicación, profundidad, etc). Por esta razón, las ocasiones en que se contó con el dispositivo fueron pocas.

El sistema fue dispuesto en un cultivo que cuenta con una infraestructura eléctrica buena, con cableado (cables calibre 11 ó 12) sobre el área de terreno, sin embargo debido a la ubicación rural de las instalaciones, la calidad de energía no es la mejor. En caso de un corte eléctrico, tanto el módulo de estación remoto como el módulo de control se apagarían, sin embargo, dado que los horarios son guardados en una base de datos, es posible cargarlos nuevamente y enviarlos al módulo de control. En caso que el corte se prolongue por espacio de horas, donde se deberían realizar riegos por horario, la única opción restante es que el operario cumpla con la apertura y cierre de válvulas de modo manual.

4. CONCLUSIONES

1. El sistema IRRIGATION version 1.0 corresponde al desarrollo de un sistema de supervisión y control del riego de un invernadero por medio de una comunicación inalámbrica, eliminando la incomodidad de los cables para transmitir datos, pero aumentando el cableado para alimentación de los módulos así como los actuadores y cableado del sensor de humedad.
2. El sistema IRRIGATION version 1.0 responde a la necesidad de controlar y supervisar variables de un terreno de gran tamaño, sin necesidad de recorrerlo de lado a lado, evitando así la pérdida de tiempo o la utilización de mano de obra innecesaria. Sin embargo, dado el desempeño logrado por estos módulos, la cobertura de cultivo sólo se alcanzaría mediante la disposición de una red implementada con gran número de transmisores/receptores RF, algunos de los cuales sólo cumplirían con la función de retransmitir paquetes de datos.

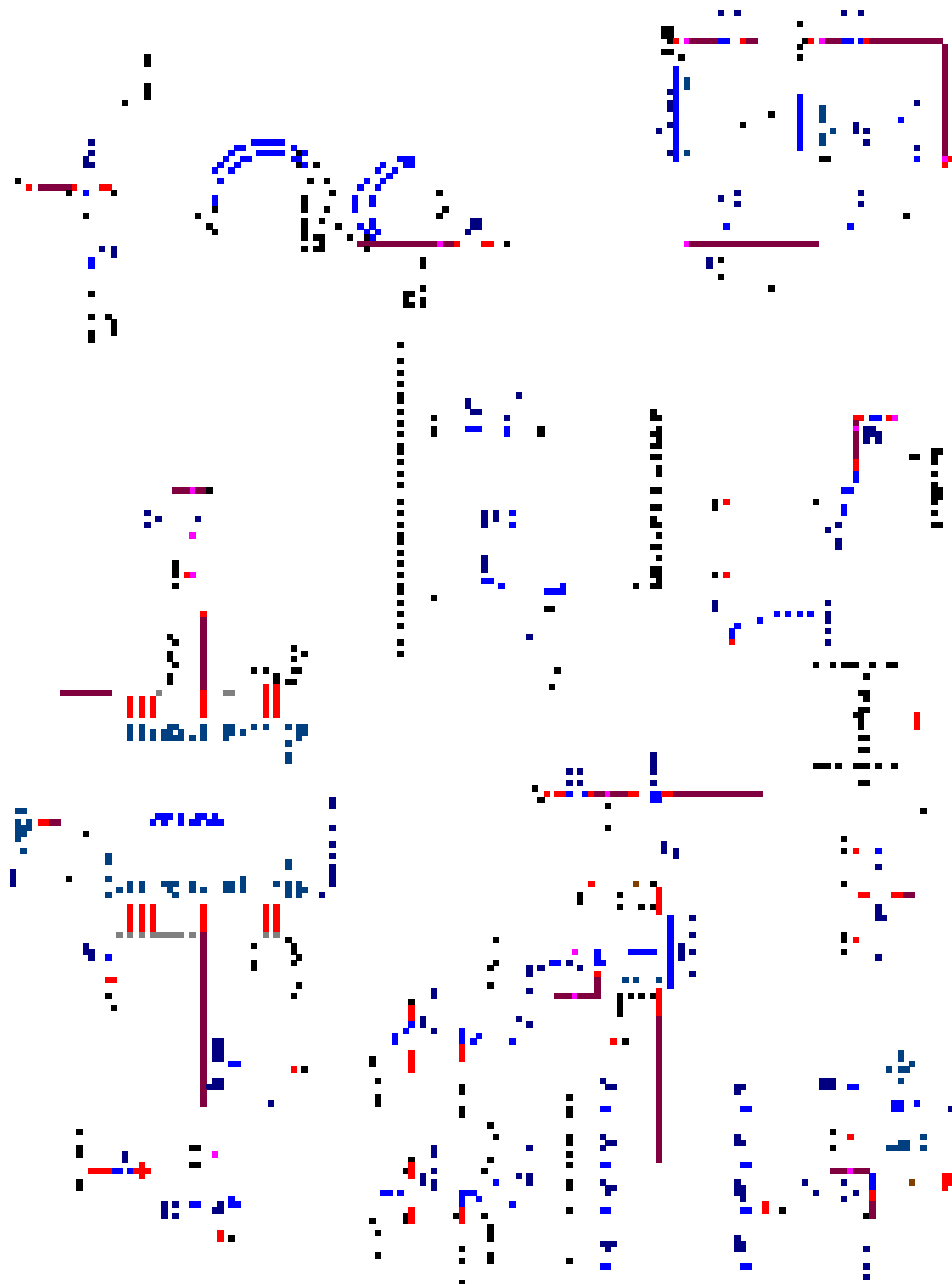
3. La comunicación I²C implementada garantiza una expansión de 256 módulos (Esclavos), que permite que el sistema pueda ser implementado en invernaderos de gran tamaño o adicionar otros periféricos que sean manejados por I²C. La respuesta total del sistema sería más lenta que en el caso de pocos dispositivos debido a que sería necesario cambiar el sistema de interrupciones a uno de polling generada por el módulo de estación remoto, con el fin de evitar interferencia entre tramas inalámbricas. La posibilidad de cambiar el canal de transmisión (entre 2.4 GHz y 2.524 GHz) así como la asignación de una dirección de 40 bits permite un número virtualmente infinito de dispositivos RF ($2^{40} \times 128 \text{ canales} = 140'737'488'355,328$ dispositivos interconectados)
4. El diseño de una interfase versátil y amigable al usuario, que pueda enviar y recibir datos inalámbricamente a través de un módulo RF, esta interfaz fue desarrollada en Delphi, garantizando su buen funcionamiento y alta compatibilidad con sistemas Windows (Windows 2000 y Windows XP).
5. Una de las ventajas de IRRAGATION versión 1.0 es que cuenta con una base de datos de usuarios que le proporciona seguridad al sistema, ya que se cuentan con diferentes perfiles de usuarios limitando mal usos o sabotajes que coloquen en riesgo al invernadero. Además contiene una base de datos en donde se almacenan los horarios programados de riego, los cuales pueden ser consultados y/o modificados por el administrador del riego en cualquier momento.
6. Del mismo modo en que se hace un registro de los horarios programados, es posible recopilar los valores de humedad medidos, con el fin de generar promedios y deducir un patrón aproximado de la humedad (ó de otras variables medidas) en determinados períodos del año.

5. BIBLIOGRAFIA

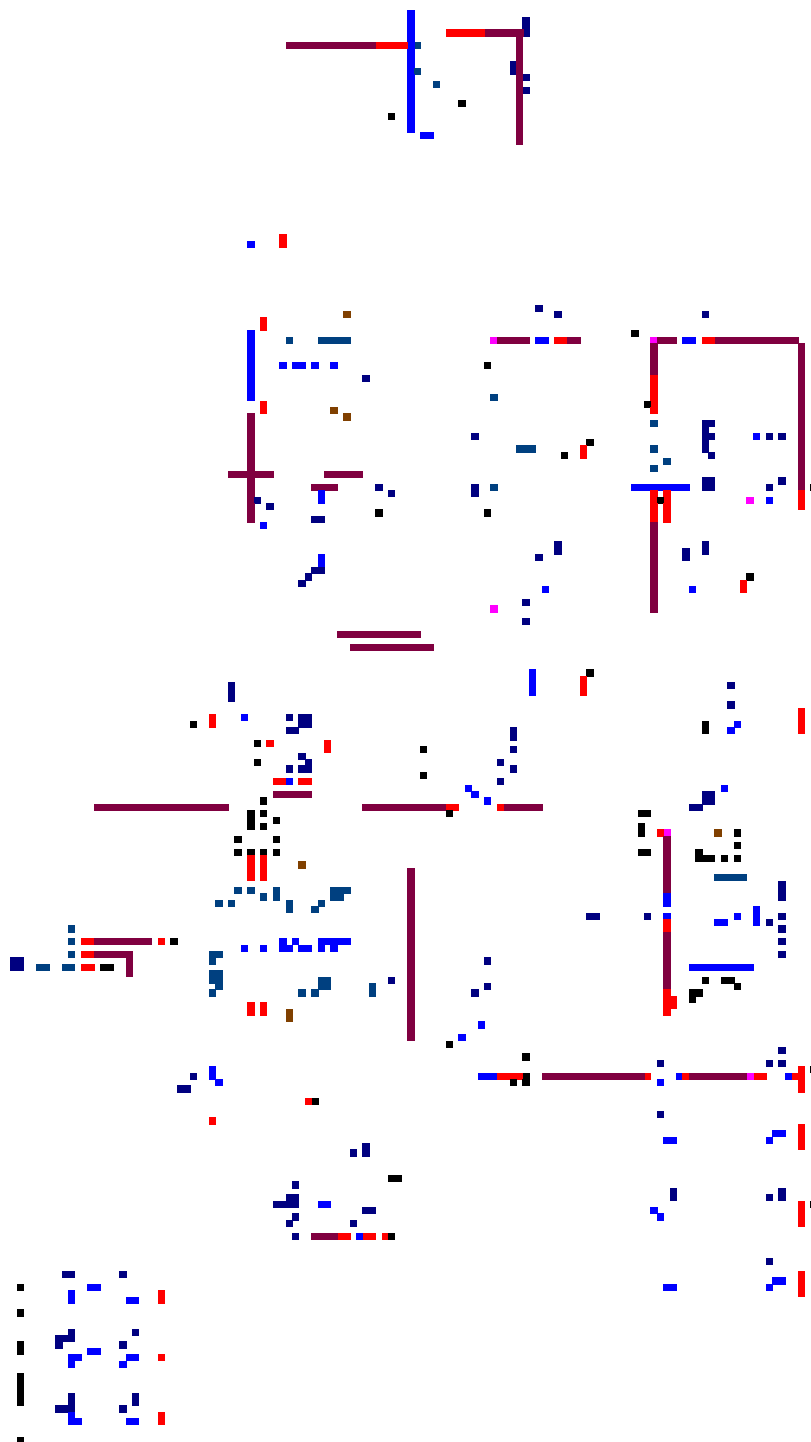
1. Control programable de riego por goteo y prevención de heladas [Microficha disponible en la Biblioteca Central, Pontificia Universidad Javeriana M T.IE 0292 C17] Carrizosa Villamizar, Guillermo.
2. Evaluación de los sistemas de riego en cultivos de flores ubicados en la sabana de Bogota [Microficha disponible en la Biblioteca Central, Pontificia Universidad Javeriana M T.IC 0305 S15] Salgar Villamizar, Luis Ernesto
3. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación [Disponible en la Biblioteca Central, Pontificia Universidad Javeriana 631.7 P49]. Pizarro Cabello, Fernando.
4. <http://www.politecnicojic.edu.co/archivo-noticias/prensa304.htm>
5. <http://www.politecnicojic.edu.co/archivo-noticias/prensa231.htm>
6. <http://eiee.univalle.edu.co/~infoindustrial/tesis/contenido.php?codigo=6>
7. CISCO NETWORKING ACADEMIES. CCNA semester I.
8. I2C™ Master Mode Overview and Use of the PICmicro® MSSP I2C Interface with a 24xx01x EEPROM de Microchip®.
Disponible en Internet
9. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39564b.pdf>
10. <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/DS1307.pdf>
11. http://www.laipac.com/easy_trf24_eng.htm
12. http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/1798
13. http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/7/4/H/C/74HC125.shtml

6. Anexos

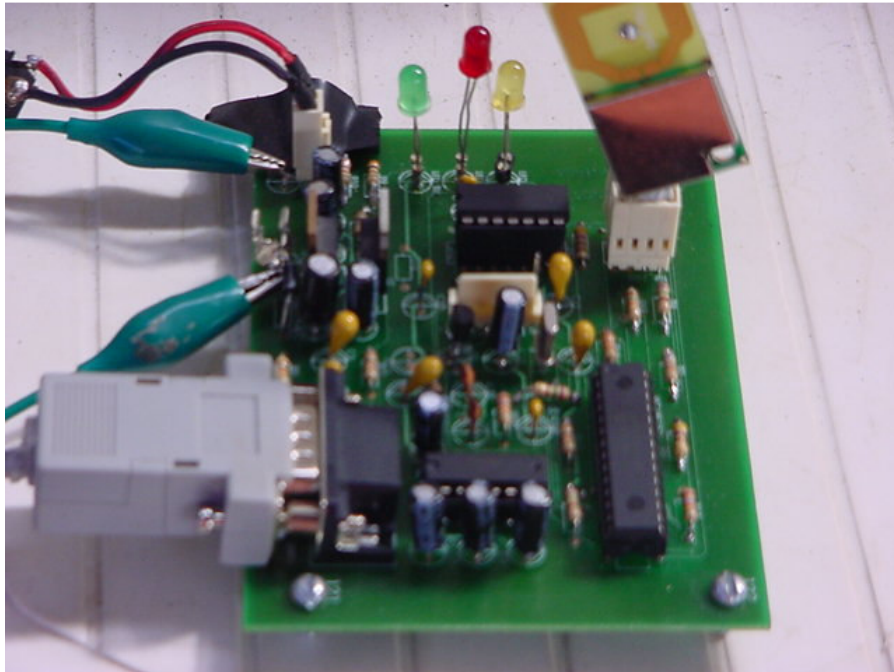
6.1. Esquemático módulo de control



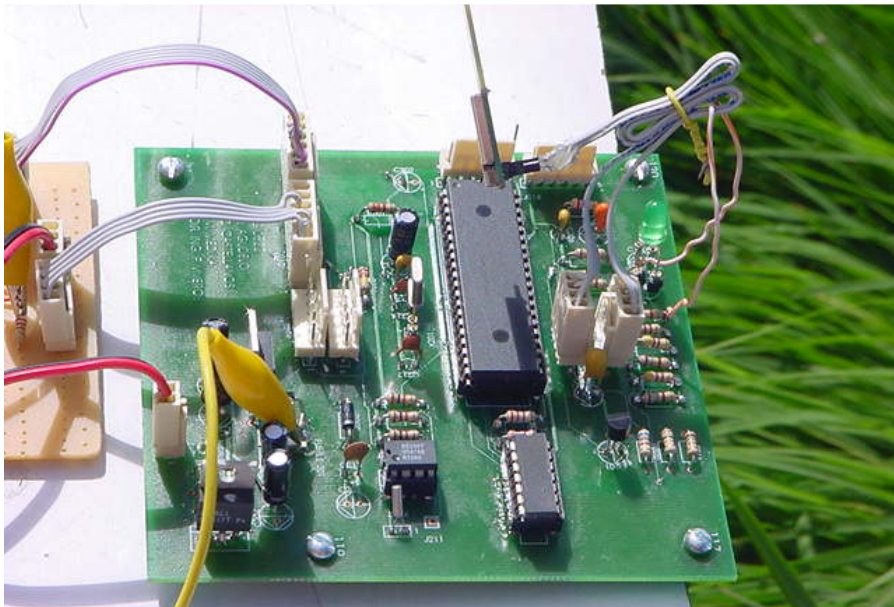
6.2. Esquemático módulo de estación remoto



6.3. Fotos del dispositivo

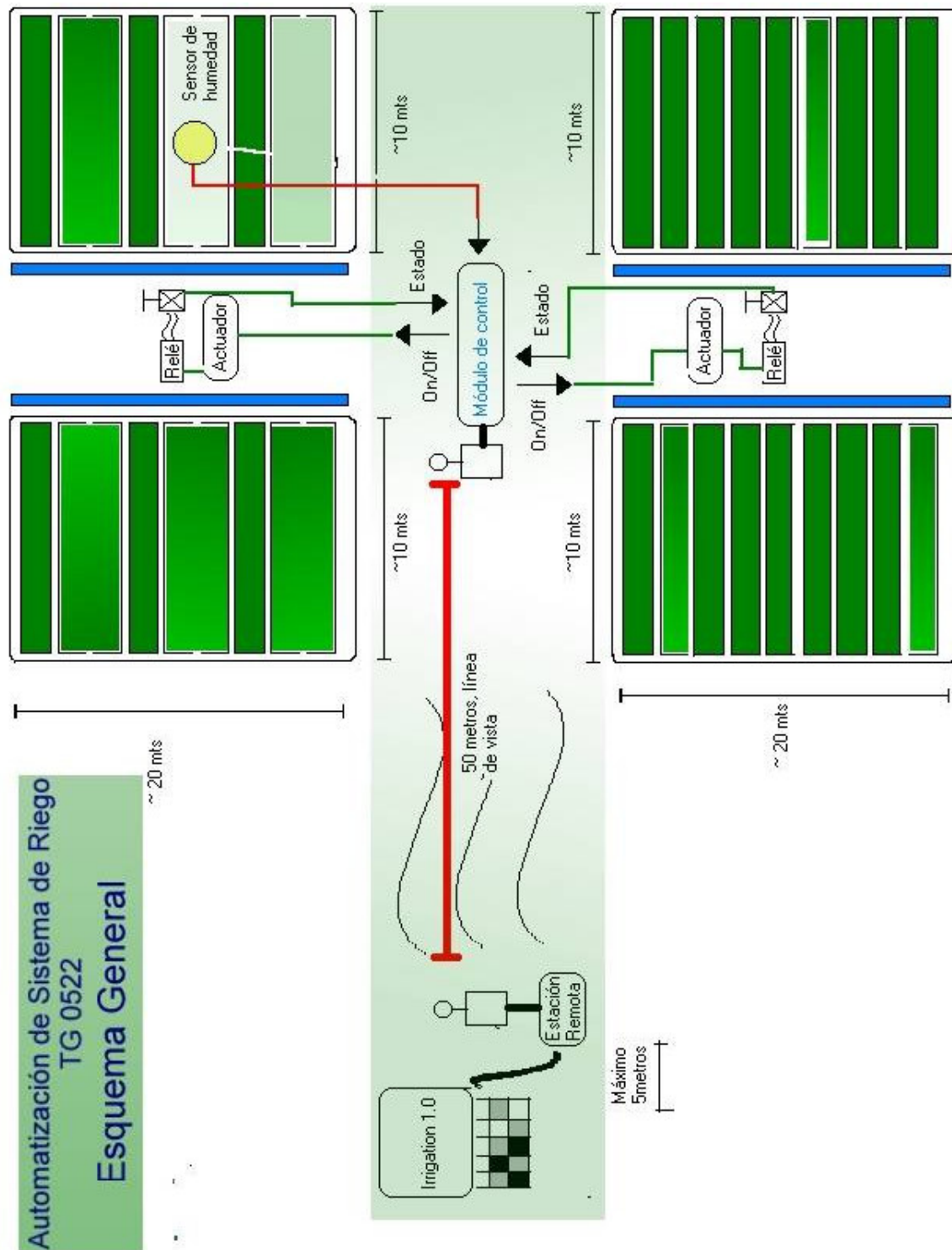


Módulo de estación remoto



Módulo de control

6.4. Esquema General



Esquema general del proyecto