

Mendoza Mondragón
Fortino

Sistema de monitoreo y control de invernaderos a
través de una red inalámbrica mediante un servidor
web embebido en microcontroladores de alto
rendimiento.

2010



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Sistema de monitoreo y control de invernaderos a través
de una red inalámbrica mediante un servidor web
embebido en microcontroladores de alto rendimiento

Tesis
Que como parte de los requisitos para
Obtener el grado de

INGENIERO EN AUTOMATIZACIÓN

Presenta

Mendoza Mondragón Fortino

Dirigida por

Dr. Genaro Martin Soto Zarazúa

C.U. Santiago de Querétaro, Qro. Agosto 2010



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Ingeniería en automatización

Sistema de monitoreo y control de invernaderos a través de una red inalámbrica mediante un servidor web embebido en microcontroladores de alto rendimiento.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

INGENIERO EN AUTOMATIZACIÓN

Presenta:

Mendoza Mondragón Fortino

Dirigido por:

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa

SINODALES

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa
Presidente

Firma

M en C. Manuel Toledano Ayala
Secretario

Firma

Dr. Edgar Rivas Araiza
Vocal

Firma

Ing. Rey David Bazán Trujillo
Suplente

Firma

M en C. Juvenal Rodríguez Reséndiz
Suplente

Firma

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Agosto del 2010
México

RESUMEN

En el presente proyecto se realizó un estudio de los Sistemas Web Embebidos con el objetivo de diseñar e implementar un prototipo que permita controlar y monitorear la temperatura y humedad de un invernadero desde cualquier parte de una red LAN. El estudio permitió la selección del sistema más adecuado para el proyecto. Como dispositivo de procesamiento se optó por la utilización de los kits de desarrollo de Ethernet, los cuales cumplían con todos los requerimientos del sistema. En el microcontrolador se programó el firmware del sistema en lenguaje C en el software PIC C Compiler. El código incluye la implementación de parte del stack TCP/IP. Se eligió utilizar TCP en lugar del UDP como protocolo de transporte porque TCP es confiable. La página Web diseñada se envía con las mediciones de temperatura, humedad y el estado de los dispositivos de control.

Palabras clave: LAN, TCP, IP, UDP, microcontrolador, invernadero

SUMMARY

This project is a study of Web Embedded Systems with the objective of designing and implementing a prototype that allows to control and monitor temperature and humidity of a greenhouse from anywhere on a LAN. The study allowed to select the most appropriate system for the project. Processing device, we opted for the use of Ethernet development kits, which met all system requirements. The microcontroller firmware is programmed in C language system software in the PIC C Compiler. The code includes the implementation of the TCP / IP stack. Chose to use TCP instead of UDP as the transport protocol because TCP is reliable. Designed Web page is sent with the measurements of temperature, humidity and status control devices.

Keywords: LAN, TCP, IP, UDP, microcontroller, greenhouse

***A los dioses, que en los cielos
nos observan***

*"Los dioses ayudan a los hombres que
se ayudan a sí mismos, y esto es
mediante el trabajo."*

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente quiero agradecer a los Dioses por permitirme estar en donde estoy, y sobre todo por las personas que puso en mi vida y lo largo de mi camino, a mi familia y amigos.

A mis padres por apoyarme durante toda mi formación estudiantil, y sobre todo por su apoyo incondicional en todo momento, a mis hermanos por todo el cariño que me han dado, en especial a mi musa, mi chaparra por llenar de cariño y alegría mi vida, a mis profesores que me apoyaron en todo momento.

A mis amigos que me acompañaron a lo largo de mi carrera, Alberto, Jorge, Genaro, Roberto y sobre todo a Moisés y Juvenal que sin su ayuda no hubiera sido posible el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE

	Página
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Índice de cuadros	vi
Índice de figuras	vii
CAPÍTULO 1	
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Antecedentes y justificación	2
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivo particulares	4
CAPÍTULO 2	
2.1 Introducción	5
2.2 Generalidades de microcontroladores	5
2.2.1 Aplicaciones de los microcontroladores	6
2.2.2 Recursos comunes a todos los Microcontroladores	6
2.2.3 Arquitectura básica	7
2.2.3.1 El procesador o CPU	8
2.2.3.2 Memoria	9
2.2.4 Recursos especiales	11
2.2.5 Puertos de comunicación	11
2.3 Sistema Embebido	12
2.4 Modelo OSI	13
2.4.1 Descripción de capas	13
2.5 Ethernet	14
2.5.1 Tecnología Ethernet	15
2.5.2 Datagramas	15
2.6 Redes de Datos	16
2.7 Servidor web	18
2.8 Modelo TCP/IP	18
2.8.1 Protocolos más comunes	19
2.8.1.1 ARP, Address Resolution Protocol	19
2.8.1.2 IP, Internet Protocol	20

2.8.1.3 ICMP, Internet Control Message Protocol	21
2.8.1.4 TCP, Transfer Control Protocol	22
2.8.1.5 HTTP, Hypertext Transfer Protocol	23
2.9 ZigBee	24
2.9.1 Configuración de red	25
2.9.2 Topología	26
2.9.2.1 Topología en Estrella	26
2.9.2.2 Topología en Árbol (Cluster Tree)	27
2.9.2.3 Topología en Malla	28
CAPÍTULO 3	
3.1 Introducción	29
3.2 Descripción del sistema	29
3.3 Sistema de comunicación inalámbrico	32
3.3.1 Características de los módulos utilizados	32
3.4 Servidor Web Embebido	33
3.4.1 Microcontrolador	34
3.4.2 Controlador ENC28J60	35
3.5 Sistema de adquisición de datos	36
3.5.1 Controlador Digital de Señales (DSC)	37
3.5.2 Sensor De Temperatura y Humedad	38
3.5.3 Reloj de tiempo real	39
3.5.4 Dispositivo de almacenamiento	39
3.6 Etapa de control	42
3.6.1 Etapa de potencia	43
CAPÍTULO 4	
4.1 Análisis y Resultados	46
4.1.1 Medición de Temperatura y humedad	46
4.1.2 Pruebas de sistema de potencia	49
4.1.3 Pruebas de la comunicación del servidor	50
Web	
4.1.3.1 Comando Ping	50
Conclusiones	53
Futuras aplicaciones o desarrollos	54
Bibliografía	55

Apéndice

Anexo 1: Hojas de datos consultadas

56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
Tabla 3.1	Características del PIC18F4620	35
Tabla 3.2	Características del dsPIC33FJ12GP201	38
Tabla 4.1	Comandos para el sistema de adquisición de datos.	47
Tabla 4.2	Comandos del controlador ON/OFF	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
Figura 2.1	Uso de los microcontroladores por sectores	6
Figura 2.2	La arquitectura Harvard	7
Figura 2.3	Capas de Modelo OSI	13
Figura 2.4	Datagrama Ethernet	15
Figura 2.5	Capas del modelo TCP / IP	
Figura 2.6	Formato de paquete ARP de solicitud	19
	O reenvió con Ethernet	19
Figura 2.7	Cabecera de un datagrama IP	21
Figura 2.8	Mensaje ICMP Echo Request y Echo Reply	21
Figura 2.9	Proceso conexión TCP	22
Figura 2.10	Diálogo HTTP	24
Figura 2.11	Aplicaciones ZigBee	25
Figura 2.12	Configuración de red en estrella	27
Figura 2.13	Topología en Árbol (Cluster Tree)	27
Figura 2.14	Topología en Malla	28
Figura 3.1	Sistema Web Embebido implementado	30
Figura 3.2	Sistema de control y monitoreo	31
Figura 3.3	XBee Pro	32
Figura 3.4	Development Kit for the PIC® MCU	34
	Embedded Ethernet	
Figura 3.5	Controlador ENC28J60	35
Figura 3.6	Modulo de adquisición de datos	36
Figura 3.7	Sensor SHT11	38
Figura 3.8	Memoria feRAM	39
Figura 3.9	Circuito esquemático del sistema	41
	de adquisición de datos	
Figura 3.10	Esquema general de la etapa de control	42

Figura 3.11	Esquemático de la etapa de potencia	43
Figura 3.12	Esquema de potencia para N de actuadores	45
Figura 4.1	Prototipo del módulo de adquisición de datos	46
Figura 4.2	Software X-CTU y base para configuración del módulo	47
Figura 4.3	Resultados de las pruebas de los comando del modulos de adquisicion de datos	48
Figura 4.4	Circuito de potencia	49
Figura 4.5	Resultados de la Prueba de conexión con el servidor utilizando el comando ping	51
Figura 4.6	Diseño de la pagina web del sistema de control	52
Figura 4.7	Diseño de la pagina web del sistema de adquisición de datos	52

CAPÍTULO 1

1.1 Descripción del problema

La gran competitividad que existe en los sectores de producción primaria tal como agricultura, ganadería y acuicultura, entre otros, a nivel mundial se ha dado una lucha incesante para reducir costos y el incremento de la eficiencia en los procesos de producción, así como optimizar el uso de agua y electricidad. Desgraciadamente, a pesar de las grandes oportunidades con las que cuenta el campo mexicano como la riqueza en el suelo y características climáticas, nuestro país se ha ido rezagando a causa de la poca tecnología aplicada y desarrollada en esta rama.

Existen sistemas de automatización comerciales pero su alto costo impide que los productores puedan adquirir estos sistemas en sus invernaderos. En producción bajo invernadero el riego y otras tareas del proceso de producción se realizan de forma manual y empírica, basada en la experiencia y no en modelos matemáticos. Como consecuencia, los costos innecesarios en el consumo de agua y electricidad aumentan. Así mismo, para operación manual de válvulas demanda mano de obra que representa un costo.

En este trabajo de tesis se propone un sistema de automatización y control de invernaderos, basado en microcontroladores de alto rendimiento PIC18 (de Microchip) [1], los cuales nos permiten realizar una conexión a internet para su mando a distancia, así como también el control y adquisición de las diferentes variables dentro de un invernadero. Con uso del sistema se lograra optimizar recursos y aumentar la rentabilidad y productividad en producción bajo invernadero.

1.2 Antecedentes y justificación

El desarrollo de los sistemas automáticos para el monitoreo y control de procesos esta basado en el hecho del rápido desarrollo de la computadora y la tecnología de la red, que han hecho que el uso de internet crezca exponencialmente. Aunque el internet se utiliza actualmente para leer, chatear, y la búsqueda de información, también puede ser utilizado en la automatización del los cultivos bajo invernaderos que proporciona grandes ventajas en los sistemas de control tal como:

- 1) El rendimiento y aprovechamiento de los recursos (agua y energía eléctrica).
- 2) Control y mando a distancia.
- 3) Mano de obra.

Por ejemplo, el usuario puede supervisar y controlar la activación de las bombas de riego, el control de las ventanas, la adquisición de las mediciones de los diferentes sensores, todo esto puede realizarse a grandes distancias desde una computadora en el hogar con acceso a internet.

El sistema consta de diversos módulos comunicados de forma inalámbrica con tecnología ZigBee, lo cual nos proporciona una gran modularidad en cuanto a los diferentes tipos de sistemas que podemos interconectar, ya sean para el monitoreo y almacenamiento de diversas variables como son temperatura, humedad relativa, CO₂, entre otras variables que nos indican las condiciones dentro del propio invernadero. El tener un sistema modular, tiene la ventaja que al tratarse grandes distancias que poseen algunos de los invernaderos, el ahorro en la instalación eléctrica y cableado de algún sistema de monitoreo resulta un costo extra que puede evitarse utilizando tecnologías inalámbricas y además el uso de energías alternativas como es el uso de celdas solares, le proporcionarían la fuente de alimentación que el sistema requiere. Por lo tanto, se tiene un módulo

de automatización para los invernaderos con instrucciones de control programable bastante versátil y fácil de adaptar a diferentes condiciones de uso y aplicación.

De igual forma estos microcontroladores también se pueden combinar para ejecutar funciones complejas. Esto es útil cuando se requieren una red de sensores, donde la intercomunicación entre los diferentes sistemas de monitoreo nos ayuda a entender la dinámica y comportamiento de un sistema. El análisis y almacenamiento de variables dentro del invernadero a lo largo de un día, mes o año, nos ayuda a modelar para controlar y predecir su comportamiento y dar información para elegir la mejor estrategia de control y lograr mejorar la rentabilidad usando sistemas de control eficientes y de bajo costo.

Además de poder realizar la mediciones de las condiciones dentro del invernadero, el hecho de poder controlar por temporizadores o mediante sensores la activación de los diferentes actuadores hace mas optima la automatización, además de contar con salidas PWM (Pulse-Width Modulation), entradas-salidas digitales, comunicación serial con la PC (Personal Computer), un puerto Ethernet que soporta los protocolos TCP/IP (Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y Protocolo de Internet (IP)) [2], todas estas herramientas nos ayudan a que el sistema de control pueda contar con un sistema del mando altamente flexible con un control tanto local como remoto.

Las tecnologías inalámbricas han adoptado con el paso del tiempo una manera más sencilla y cómoda de utilizar toda clase de dispositivos con el fin de mejorar el confort y las comunicaciones en general. ZigBee [3] es un estándar para comunicaciones inalámbricas para soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante. ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal WPAN (wireless personal área network). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras

con baja tasa de envío de datos y bajo consumo de energía, además de su fácil integración.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de automatización basado en microcontroladores de alto desempeño y tecnología ZigBee para monitoreo y control de invernaderos de forma local y remota a través de internet.

1.3.2 Objetivo particulares

1. Implementar un servidor web embebido en un microcontrolador de alto rendimiento para control remoto en invernaderos.
2. Desarrollar sistemas de monitoreo y control inalámbrico utilizando ZigBee para integrar una red de estaciones para medición en invernaderos.

CAPITULO 2

2.1 Introducción

En el desarrollo de cualquier investigación o aplicación es importante tener una fundamentación teórica previa al desarrollo de la misma, para el correcto desarrollo del proyecto, esta fundamentación teórica debe estar enfocada en los puntos principales del mismo.

El objetivo de este capítulo es mostrar al lector las tecnologías empleadas en el desarrollo de la aplicación, que se encuentra descrita en el capítulo 3, en donde se describen las características generales del sistema propuesto.

2.2 Generalidades de microcontroladores

Gracias a los continuos avances de la electrónica, especialmente en la tecnología de los semiconductores y en el campo de la microelectrónica, se ha conseguido desarrollar un tipo de computador potente, pequeño y de reducidos costes económicos, llamado microcontrolador. Los microcontroladores son un computador en un único circuito integrado, su reducido tamaño les permite estar en el interior de los dispositivos que gobiernan, haciendo los productos finales más versátiles y potenciándolos sin apenas alterar su tamaño y coste. Actualmente los microcontroladores son usados en todos los sectores de la industria, siendo los sectores de la automoción, la informática y las comunicaciones los que más uso hacen de este tipo de computadores integrados.

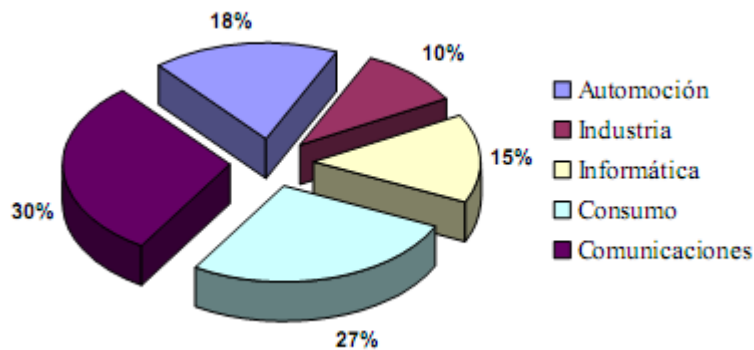


Figura 2.1. Uso de los microcontroladores por sectores

2.2.1 Aplicaciones de los microcontroladores

Los microcontroladores están siendo empleados en multitud de sistemas presentes en nuestra vida diaria como juguetes, horno microondas, frigoríficos, televisores, computadoras, impresoras, módems, sistema de arranque para vehículos, entre otras aplicaciones con las que seguramente no se está familiarizado. Una aplicación típica podría emplear varios microcontroladores para controlar pequeñas partes del sistema. Estos pequeños controladores podrían comunicarse entre ellos y con un procesador central más potente para compartir la información y coordinar sus acciones, habitualmente se usa una PC, este es el caso de los sistemas de automatización para invernaderos usados en el Campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería de la Universidad autónoma de Querétaro (FI UAQ).

2.2.2 Recursos comunes a todos los microcontroladores

Al estar todos los microcontroladores integrados en un chip, su estructura fundamental y sus características básicas son muy parecidas. Todos deben disponer de los bloques esenciales: Procesador, memoria de datos y de instrucciones, líneas de E/S, oscilador de reloj y módulos controladores de periféricos. Sin embargo, cada fabricante intenta enfatizar los recursos más idóneos para las aplicaciones a las que se destinan preferentemente.

En este apartado se hace un recorrido de todos los recursos que se hallan en todos los microcontroladores describiendo las diversas alternativas y opciones que pueden encontrarse según el modelo seleccionado.

2.2.3 Arquitectura básica

Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de von Neumann, en el momento presente se impone la arquitectura Harvard. La arquitectura de von Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control).

La arquitectura Harvard (Figura 2.2) dispone de dos memorias independientes, una que contiene sólo instrucciones y otra que contiene sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias.

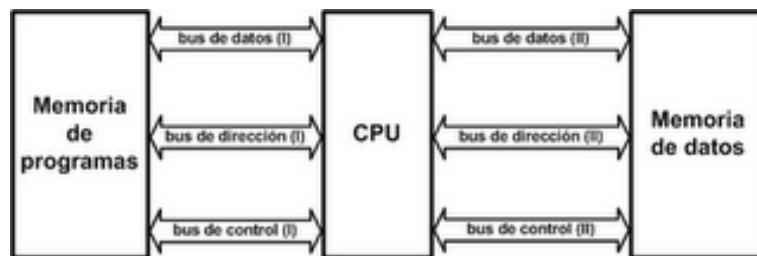


Figura 2.2. La arquitectura Harvard

2.2.3.1 El procesador o CPU

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado.

Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores actuales.

- **CISC:** Un gran número de procesadores usados en los microcontroladores están basados en la filosofía CISC (Computadora de Juego de Instrucciones Complejo). Disponen de más de 80 instrucciones máquina en su repertorio, algunas de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución. Una ventaja de los procesadores CISC es que ofrecen al programador instrucciones complejas que actúan como macros.

- **RISC:** Tanto la industria de los computadores comerciales como la de los microcontroladores están decantándose hacia la filosofía RISC (Computadora de Juego de Instrucciones Reducido). En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y, generalmente, se ejecutan en un ciclo. La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.

- **SISC:** En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones, además de ser reducido, es "específico", o sea, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía se ha bautizado con el nombre de SISC (Computadoras de Juego de Instrucciones Específico).

2.2.3.2 Memoria

En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos.

Hay dos peculiaridades que diferencian a los microcontroladores de los computadores personales:

- No existen sistemas de almacenamiento masivo como disco duro o disquetes.
- Como el microcontrolador sólo se destina a una tarea en la memoria ROM, sólo hay que almacenar un único programa de trabajo.

La RAM en estos dispositivos es de poca capacidad pues sólo debe contener las variables y los cambios de información que se produzcan en el transcurso del programa. Por otra parte, como sólo existe un programa activo, no se requiere guardar una copia del mismo en la RAM pues se ejecuta directamente desde la ROM.

Los usuarios de computadoras personales están habituados a manejar Megabytes de memoria, pero, los diseñadores con microcontroladores trabajan con capacidades de ROM comprendidas entre 512 bytes y 8 k bytes y de RAM comprendidas entre 20 y 512 bytes.

Según el tipo de memoria ROM que dispongan los microcontroladores, la aplicación y utilización de los mismos es diferente. Se describen a continuación las cinco versiones de memoria no volátil que se pueden encontrar en los microcontroladores del mercado.

- **ROM** con máscara: Es una memoria no volátil de sólo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del chip. El elevado costo del diseño de la máscara sólo hace aconsejable el empleo de los microcontroladores con este tipo de memoria cuando se precisan cantidades superiores a varios miles de unidades.
- **OTP:** (One Time Programmable). El microcontrolador contiene una memoria no volátil de sólo lectura "programable una sola vez" por el usuario. Es el usuario quien puede escribir el programa en el chip mediante un sencillo grabador controlado por un programa desde un PC. La versión OTP es recomendable cuando es muy corto el ciclo de diseño del producto, o bien, en la construcción de prototipos y series muy pequeñas. Tanto en este tipo de memoria como en la EPROM, se suele usar la encriptación mediante fusibles para proteger el código contenido.
- **EPROM:** Los microcontroladores que disponen de memoria EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) pueden borrarse y grabarse muchas veces. La grabación se realiza, como en el caso de los OTP, con un grabador gobernado desde un PC. Si, posteriormente, se desea borrar el contenido, disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a la EPROM a rayos ultravioleta durante varios minutos. Las cápsulas son de material cerámico y son más caros que los microcontroladores con memoria OTP que están hechos con material plástico.
- **EEPROM:** Se trata de memorias de sólo lectura, programables y borrables eléctricamente EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory). Tanto la programación como el borrado, se realizan eléctricamente. Es muy cómoda y rápida la operación de grabado y la de borrado. No disponen de ventana de cristal en la superficie. El número de veces que puede grabarse y borrarse una memoria EEPROM es finito, por lo que no es recomendable una reprogramación continua. Son muy idóneos para la enseñanza y la Ingeniería de diseño.

- **FLASH:** Se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. Funciona como una ROM y una RAM pero consume menos y es más pequeña. A diferencia de la ROM, la memoria FLASH es programable en el circuito. Es más rápida y de mayor densidad que la EEPROM. La alternativa FLASH está recomendada frente a la EEPROM cuando se precisa gran cantidad de memoria de programa no volátil. Es más veloz y tolera más ciclos de escritura/borrado.

2.2.4 Recursos especiales

Cada fabricante oferta numerosas versiones de una arquitectura básica de microcontrolador. En algunas amplía las capacidades de las memorias, en otras incorpora nuevos recursos, en otras reduce las prestaciones al mínimo para aplicaciones muy simples, etc. La labor del diseñador es encontrar el modelo mínimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación. De esta forma, minimizará el costo, el hardware y el software.

Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores son:

- Temporizadores o "Timers".
- Perro guardián o "Watchdog".
- Protección ante fallo de alimentación o "Brownout".
- Estado de reposo o de bajo consumo.
- Conversor A/D.
- Conversor D/A.
- Comparador analógico.
- Modulador de ancho de pulso o PWM.
- Puertas de E/S digitales.
- Puertos de comunicación.

2.2.5 Puertos de comunicación

Con objeto de dotar al microcontrolador de la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos, otros buses de microprocesadores, buses de sistemas, buses de redes y poder adaptarlos con otros elementos bajo otras normas y protocolos. Algunos modelos disponen de recursos que permiten directamente esta tarea, entre los que destacan:

- UART, adaptador de comunicación serie asíncrona.
- USART, adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona
- USB (Universal Serial Bus), que es un moderno bus serie para los PC
- Bus I2C, que es un interfaz serie de dos hilos desarrollado por Philips
- CAN (Controller Área Network), para permitir la adaptación con redes de conexasión multiplexado desarrollado conjuntamente por Bosch e Intel para el cableado de dispositivos en automóviles.

2.3 Sistema Embebido

El término "embebido" (también se le conoce como "empotrado") hace referencia al hecho que la electrónica o el sistema electrónico de control es una parte integral del sistema en que se encuentra. La característica principal que diferencia a los "embebidos" de los demás sistemas electrónicos es que, por estar insertados dentro del dispositivo que controlan, están sujetos en mayor medida a cumplir requisitos de tamaño, fiabilidad, consumo y coste, y su existencia puede no ser aparente. Algunos ejemplos de Sistemas Embebidos son los sistemas de información integrados en automóviles, trenes o aviones, y controladores de procesos en sistemas de producción industrial [3].

2.4 Modelo OSI

El modelo de interconexión de sistema abierto (OSI) es el modelo de referencia de internetwork más ampliamente conocido. Se utiliza para el diseño de redes de datos, especificaciones de funcionamiento y resolución de problemas.

OSI define para su modelo siete capas (Figura 2.3) cada una de ella agrega funciones que deben tener lugar para que las comunicaciones sean exitosas.

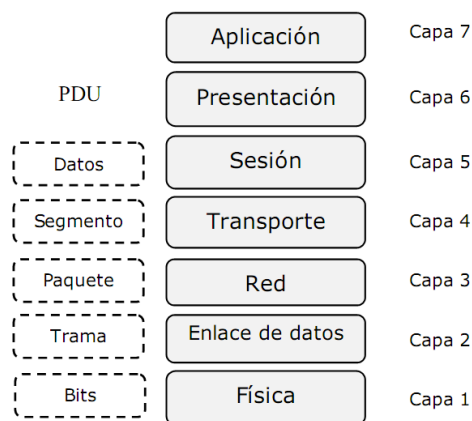


Figura 2.3. Capas de Modelo OSI

2.4.1 Descripción de capas

- **Capa 7:** Esta es la capa que interactúa con el sistema operativo o aplicación cuando el usuario decide transferir archivos, leer mensajes, o realizar otras actividades de red.
- **Capa 6:** Esta capa tiene la misión de recoger los datos que han sido entregados por la capa de aplicación, y convertirlos en un formato estándar que otras capas puedan entender.
- **Capa 5:** Esta capa establece, mantiene y termina las comunicaciones que se forman entre dispositivos.
- **Capa 4:** Esta capa mantiene el control de flujo de datos, y provee de verificación de errores y recuperación de datos entre dispositivos. Control de flujo significa que la capa de transporte vigila si los datos vienen de más

de una aplicación e integra cada uno de los datos de aplicación en un solo flujo dentro de la red física.

- **Capa 3:** Esta capa determina la forma en que serán mandados los datos al dispositivo receptor.
- **Capa 2:** También llamada capa de enlaces de datos. En esta capa, el protocolo físico adecuado es asignado a los datos. Se asigna el tipo de red y la secuencia de paquetes utilizada.
- **Capa 1:** Este es el nivel de lo que llamamos hardware. Define las características físicas de la red, como las conexiones, niveles de voltaje, cableado, etc.

2.5 Ethernet

Ethernet es probablemente el estándar más popular para las redes de área local (LAN). En una configuración Ethernet, los equipos están conectados mediante cable coaxial o de par trenzado ("Twisted-pair") y compiten por acceso a la red utilizando un modelo denominado CSMA/CD ("Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection") [6]. Inicialmente podía manejar información a 10 Mb/s, aunque actualmente se han desarrollado estándares mucho más veloces.

Otros organismos que tienen gran influencia en el establecimiento de normas para la industria de redes y telecomunicaciones son:

- EIA ("Electronic Industries Alliance") Asociación de Industrias Electrónicas
- TIA ("Telecommunications Industry Association") Asociación de las industrias de telecomunicaciones.

Estas dos asociaciones editan normas de forma conjunta, que se conocen como normas TIA/EIA; son las de mayor influencia en el diseño e instalación de redes.

2.5.1 Tecnología Ethernet

Los estándares Ethernet no necesitan especificar todos los aspectos y funciones necesarios en un Sistema Operativo de Red NOS ("Network Operating System"). Como ocurre con otros estándares de red, la especificación Ethernet se refiere solamente a las dos primeras capas del modelo OSI. Estas son la capa física (el cableado y las interfaces físicas), y la de enlace, que proporciona direccionamiento local; detección de errores, y controla el acceso a la capa física. Una vez conocidas estas especificaciones el fabricante del adaptador está en condiciones de que su producto se integre en una red sin problemas. También es de su incumbencia proporcionar los controladores ("Drivers") de bajo nivel adecuados para cada Sistema Operativo que debe utilizar el adaptador [6].

2.5.2 Datagramas

El formato de los paquetes PDUs ("Protocol Data Units") puede verse en la Figura 2.4; un datagrama Ethernet incluye: Un preámbulo; campos de dirección de origen y de destino; tipo de campo; campo de datos, y chequeo de integridad FCS ("Frame Check Sequence").

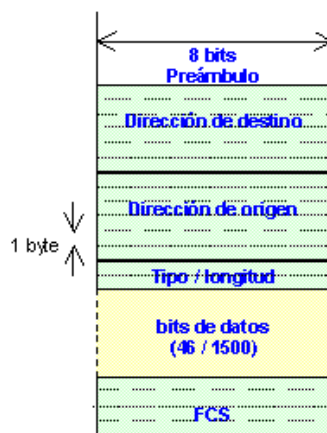


Figura 2.4. Datagrama Ethernet

- **El preámbulo:** Una serie de 8 octetos que preceden al datagrama en la capa física. Tiene por finalidad permitir que las estaciones receptoras sincronicen sus relojes con el mensaje entrante a fin de que puedan leerlo

sin errores. El último de estos bytes se denomina delimitador de comienzo de marco SFD ("Start Frame Delimiter").

- **Las direcciones de destino y origen:** son direcciones físicas en el sentido de que se refieren a dispositivos físicos (adaptadores de red) conocidos generalmente como NIC ("Network Interface Card"). Estas direcciones se refieren al NIC que recibirá el datagrama (a quién va dirigido) y al NIC remitente ("Source address"). La dirección de destino es conocida también como dirección del recipiente ("Recipient address"). Indicar a este respecto que cada NIC tiene un número de identificación (dirección) de 6 bytes que es único en el mundo y no se repite (algo así como la huella dactilar de una persona); el denominado MAC ("Media Access Control"). Esta dirección está contenida en el hardware de la tarjeta o adaptador de red y no puede o debe ser alterado [5].
- **El Código de tipo:** es un número de 16 bits que se utiliza para identificar el tipo de protocolo de alto nivel que está siendo utilizado en la red Ethernet. Señala por tanto el tipo de dato que está siendo transportado en el campo de datos del paquete.
- **El campo de datos:** en el datagrama puede variar entre un mínimo de 46 y un máximo de 1500 bytes, así que la longitud máxima de un paquete Ethernet es de 1518 bytes, y 64 la mínima.
- **El campo de chequeo de integridad FCS ("Frame Check Sequence"):** es un valor de 32 bits (4 octetos) que contiene un "checksum" del marco. El remitente realiza un control CRC ("Cyclical Redundancy") de los datos e incluye este valor en este campo. El receptor realiza a su vez el mismo cálculo con los datos recibidos y los compara con el valor del campo FCS del datagrama recibido. Si existe discordancia se solicita el reenvío del paquete erróneo.

2.6 Redes de Datos

Las Redes en la actualidad se han convertido en una parte esencial en la vida personal y comercial al permitir la comunicación en forma confiable con todos en

todas partes. Estas redes de información varían en tamaño y capacidad, pero todas las redes tienen cuatro elementos básicos en común:

- **Protocolos.**- Reglas y acuerdos para regular cómo se envían, se direccionan, reciben e interpretan los mensajes.
- **Mensajes.**- Unidades de información que viajan de un dispositivo a otro.
- **Medio de comunicación.**- Una forma de interconectar esos dispositivos, que puede transportar los mensajes de un dispositivo a otro.
- **Dispositivos.** -los dispositivos de la red que cambian mensajes entre sí.

Para las redes de datos, la comunicación deberá estar destinada a ser exitosa. Sin embargo, debido a que un mensaje se traslada por la red, muchos factores pueden evitar que el mensaje llegue al receptor o distorsionar el significado pretendido como: la calidad de la ruta entre el emisor y el receptor, tamaño del mensaje, etc.

Algunos de los tipos de redes más comúnmente utilizados en aplicaciones son:

- **LAN o Red de área Local:** Por lo general se encuentran administradas por una organización única y cubren una determinada área geográfica proporcionando servicios y aplicaciones a personas dentro de una organización común.
- **WAN o Red de área amplia:** Cuando una organización tiene ubicaciones separadas por grandes distancias geográficas, se requerirá un proveedor de servicio de telecomunicaciones para interconectar las LAN. Este tipo de redes utilizan dispositivos de red diseñados específicamente para realizar las interconexiones para poder compartir recursos.
- **Internetworks:** La internetwork más conocida, ampliamente utilizada y a la que accede el público en general es Internet. Internet se crea por la interconexión de redes que pertenecen a los Proveedores de servicios de

Internet (ISP). Estas redes ISP se conectan entre sí para proporcionar acceso a millones de usuarios en todo el mundo.

2.7 Servidor web

Un servidor web es un programa que está diseñado para transferir hipertextos, páginas web o páginas HTML (HyperText Markup Language): textos complejos con enlaces, figuras, formularios, botones y objetos incrustados como animaciones o reproductores de música. El programa implementa el protocolo HTTP (HyperText Transfer Protocol) que pertenece a la capa de aplicación del modelo OSI.

El Servidor web se ejecuta en un ordenador manteniéndose a la espera de peticiones por parte de un cliente (un navegador web) y que responde a estas peticiones adecuadamente, mediante una página web que se exhibirá en el navegador o mostrando el respectivo mensaje si se detectó algún error. El cliente es el encargado de interpretar el código HTML, es decir, de mostrar las fuentes, los colores y la disposición de los textos y objetos de la página; el servidor tan sólo se limita a transferir el código de la página sin llevar a cabo ninguna interpretación de la misma.

2.8 Modelo TCP/IP

Se conoce con el nombre de modelo de Internet. Define 4 categorías de funciones que deben tener lugar para que las comunicaciones sean exitosas. La arquitectura de la suite de protocolos TCP/IP sigue la estructura de este modelo. Por esto, es común que al modelo de Internet se lo conozca como modelo TCP/IP.

La mayoría de los modelos de protocolos describen un stack de protocolos específicos del proveedor. Sin embargo, puesto que el modelo TCP/IP es un estándar abierto (Figura 2.5), una compañía no controla la definición del modelo.

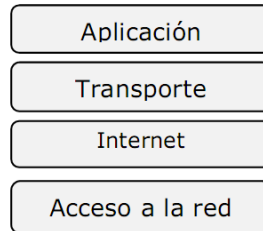


Figura 2.5. Capas del modelo TCP/IP

Las definiciones del estándar y los protocolos TCP/IP se explican en un foro público y se definen en un conjunto de documentos disponibles al público. Estos documentos se denominan Solicitudes de comentarios (RFCs).

2.8.1 Protocolos más comunes

2.8.1.1 ARP, Address Resolution Protocol

El protocolo ARP tiene un papel clave entre los protocolos de capa de Internet relacionados con el protocolo TCP/IP, ya que permite que se conozca la dirección física de una tarjeta de interfaz de red correspondiente a una dirección IP. Por eso se llama Protocolo de Resolución de Dirección (Figura 2.6). Cada equipo conectado a la red tiene un número de identificación de 48 bits. Éste es un número único establecido en la fábrica en el momento de fabricación de la tarjeta. Sin embargo, la comunicación en Internet no utiliza directamente este número, sino que utiliza una dirección lógica asignada por un organismo: la dirección IP.

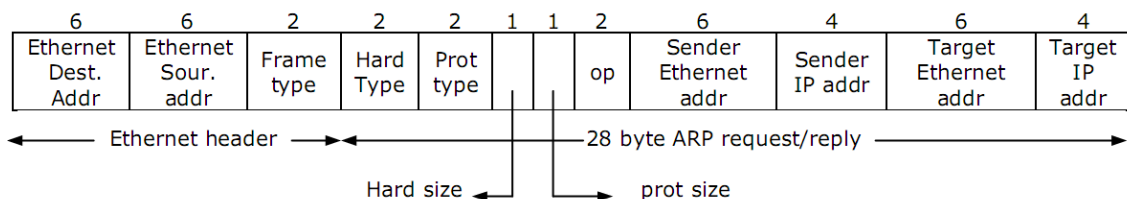


Figura 2.6. Formato de paquete ARP de solicitud o reenvío con Ethernet.

- **Direcciones Ethernet origen y destino.** La dirección especial de destino Ethernet con todos los 48 bits puestos a uno (0xFFFFFFFFFFFF) significa una dirección broadcast.
- **Tipo de Frame de Ethernet.** Especifica el tipo de datos que tiene.
- **Tipo de Hardware (Hard).** Especifica el tipo de dirección de hardware. Su valor es 1 para un Ethernet.
- **Tipo de Protocolo (Prot).** Especifica el tipo de dirección de protocolo que ha sido mapeada. Su valor es 0x0800 para una dirección IP.
- **Tamaño de Hardware y Protocolo.** Especifica el tamaño (en bytes) de la dirección de hardware y de la dirección de protocolo.
- **Operación (Op).** Especifica si la operación es una solicitud ARP (un valor de 1, reenvío ARP (2), solicitud RARP (3), reenvío (4). Este campo se requiere desde que los campos de tipo de frame son los mismos para solicitud ARP y para reenvío ARP.

2.8.1.2 IP, Internet Protocol.

Permite enviar bloques de datos, llamados datagramas, desde un miembro de la red a otro, estos miembros son identificados por una dirección de longitud fija. El IP trabaja principalmente con direcciones. Las direcciones están compuestas por 4 octetos conformando un número de 32 bits, donde los primeros números indican el número de la red, seguidos por el número local dentro de dicha red. El datagrama IP está compuesto por los siguientes campos que se muestran en la Figura 2.7.

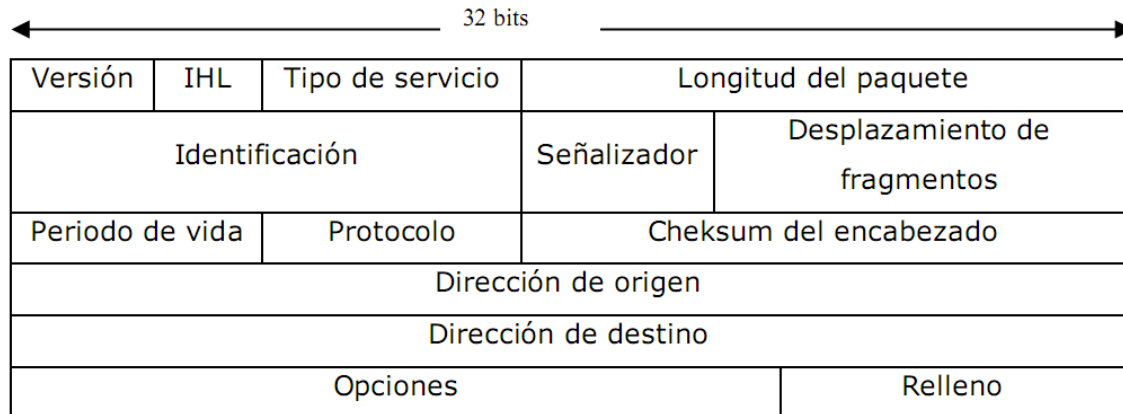


Figura 2.7. Cabecera de un datagrama IP

2.8.1.3 ICMP, Internet Control Message Protocol

El mensaje ICMP utiliza la cabecera básica de 20 bytes del datagrama IP y en el primer byte del campo de datos del datagrama IP se encuentra a su vez el campo Tipo de mensaje ICMP. Dependiendo del valor de este campo, será la organización de los datos siguientes. Dos mensajes ICMP de importancia son el mensaje de tipo ICMP+ECHO+REQUEST y el mensaje de tipo ICMP+ECHO+REPLY (Figura 2.8). El primero es enviado por un host (miembro de la red) hacia un host destino, constando de una secuencia determinada de bytes. Si el host destino lo recibe, enviara entonces el segundo tipo de mensaje, manteniendo la misma secuencia de bytes.

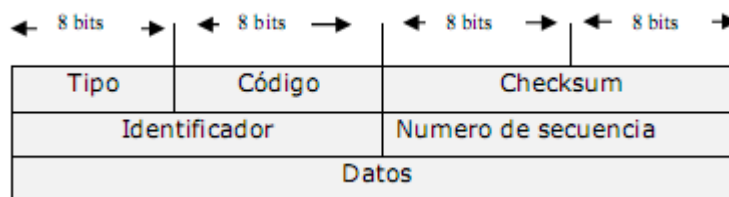


Figura 2.8. Mensaje ICMP Echo Request y Echo Reply

Los mensajes ICMP que se pueden enviar incluyen:

- Confirmación de host
- Destino o servicio inalcanzable

- Tiempo excedido
- Redirección de ruta
- Disminución de velocidad en origen

2.8.1.4 TCP, Transfer Control Protocol

Es el protocolo de transporte orientado a conexión. Entre las funciones especificadas por TCP son entrega confiable y de control de flujo. Cada segmento de TCP posee 20 bytes de carga en el encabezado, que encapsulan los datos de la capa de Aplicación. Las conexiones que utilizan TCP son: Exploradores Web, e-mail, Transferencia de archivos.

Cuando dos hosts se comunican utilizando TCP, se establece una conexión antes de que puedan intercambiarse los datos. Luego de que se completa la comunicación, se cierran las sesiones y la conexión finaliza. Los mecanismos de conexión y de sesión habilitan la función de confiabilidad de TCP.

Para establecer la conexión, los hosts realizan un intercambio de señales de tres vías (Figura 2.9). Los bits de control en el encabezado TCP indican el progreso y estado de la conexión.

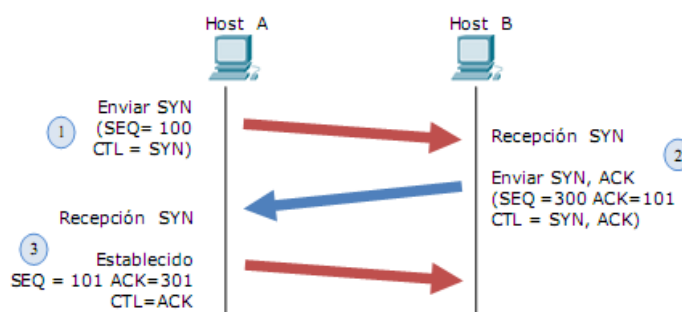


Figura 2.9. Proceso conexión TCP

En conexiones TCP, el host que brinda el servicio como cliente inicia la sesión al servidor. Los tres pasos para el establecimiento de una conexión TCP son:

1. El cliente que inicia la conexión envía un segmento que contiene un valor de secuencia inicial, que actúa como solicitud para el servidor, para comenzar una sesión de comunicación.
2. El servidor responde con un segmento que contiene un valor de reconocimiento igual al valor de secuencia recibido más 1, además de su propio valor de secuencia de sincronización. El valor es uno mayor que el número de secuencia porque el ACK es siempre el próximo Byte u Octeto esperado. Este valor de reconocimiento permite al cliente unir la respuesta al segmento original que fue enviado al servidor.
3. El cliente que inicia la conexión responde con un valor de reconocimiento igual al valor de secuencia que recibió más uno. Esto completa el proceso de establecimiento de la conexión.

Para entender el proceso de enlace de tres vías, es importante observar los distintos valores que intercambian los dos hosts. Dentro del encabezado del segmento TCP, existen seis campos de 1 bit que contienen información de control utilizada para gestionar los procesos de TCP. Estos campos son los siguientes:

- **URG:** Urgente campo de señalizador significativo,
- **ACK:** Campo significativo de acuse de recibo,
- **PSH:** Función de empuje,
- **RST:** Reconfiguración de la conexión,
- **SYN:** Sincronizar números de secuencia,
- **FIN:** No hay más datos desde el emisor.

2.8.1.5 HTTP, Hypertext Transfer Protocol

Es un protocolo común que regula la forma en que interactúan un servidor Web y un cliente Web. HTTP define el contenido y el formato de las solicitudes y respuestas intercambiadas entre el cliente y el servidor. Tanto el cliente como el software del servidor Web implementan el HTTP como parte de la aplicación. El

protocolo HTTP se basa en otros protocolos para regir de qué manera se transportan los mensajes entre el cliente y el servidor

La comunicación entre el navegador y el servidor (Figura 2.10), se lleva a cabo en dos etapas:

- El navegador realiza una solicitud HTTP
- El servidor procesa la solicitud y después envía una respuesta HTTP

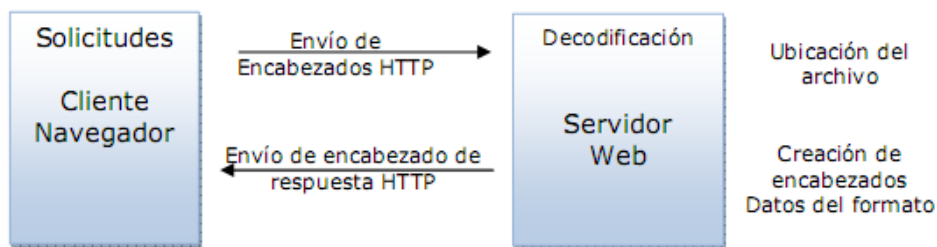


Figura 2.10. Diálogo HTTP

2.9 ZigBee

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de comunicación de alto nivel para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

El mercado de ZigBee tiene las siguientes aplicaciones:

- Control y automatización del hogar
- Seguridad de edificios y monitoreo
- Telemetría:
 - Industrial
 - Médica
- Control industrial



Figura 2.11. Aplicaciones ZigBee

2.9.1 Configuración de red.

El estándar inalámbrico de red ZigBee puede asumir muchos tipos de configuraciones. En toda configuración de red hay por lo menos dos componentes principales los mismos son:

- Nodo Coordinador.
- Dispositivo Final.

En base a su funcionalidad se clasifican:

- **Dispositivo de funcionalidad completa (FFD):** Es capaz de recibir mensajes en formato 802.15.4. Puede funcionar como un coordinador de red. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como coordinador o router o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interface con los usuarios.
- **Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD):** Tiene capacidad y funcionalidad limitadas (especificada en el estándar) con el objetivo de

conseguir un bajo coste y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores y actuadores de la red.

El coordinador del estándar ZigBee es una variante especial de un Dispositivo de Funciones Totales (FFD) que realiza la mayoría de servicios del estándar ZigBee. Un dispositivo final sería un FFD o un Dispositivo de Funciones Reducidas (RFD). Un RFD es lo más pequeño y simple de los nodos en el estándar ZigBee. Este implementa únicamente un servicio mínimo de funciones. Un tercero u opcional componente del estándar es el ruteador, el cual es usado para la extensión de la red.

2.9.2 Topología

La capa de red soporta múltiples configuraciones de red incluyendo estrella, árbol y malla.

2.9.2.1 Topología en Estrella

La configuración de red en estrella consta de un coordinador (máster) y uno o más dispositivos finales (nodos) (ver Figura 2.12). En una red en estrella, todos los dispositivos finales se comunican únicamente con el coordinador. Si un dispositivo final necesita transferir datos a otro dispositivo final, este envía sus datos al coordinador. El coordinador selecciona y reenvía los datos al nodo destinatario.

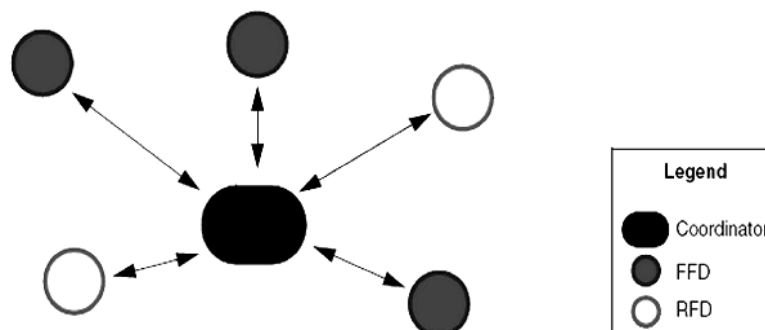


Figura 2.12. Configuración de red en estrella

En la configuración en estrella, uno de los dispositivos tipo FFD asume el rol de coordinador de red y es responsable de inicializar y mantener los dispositivos en la red. Todos los demás dispositivos ZigBee, conocidos con el nombre de dispositivos finales, hablan directamente con el coordinador.

2.9.2.2 Topología en Árbol (Cluster Tree)

En esta configuración, los dispositivos finales pueden unirse unos con otros por medio de coordinadores o ruteadores. Los ruteadores ofrecen dos funciones. Uno es el incremento del número de nodos que puedan estar en la red. La otra es la ampliación física del rango de alcance de la red. Con el ingreso de un ruteador, un dispositivo final no necesita estar a un rango determinado de radio del coordinador.

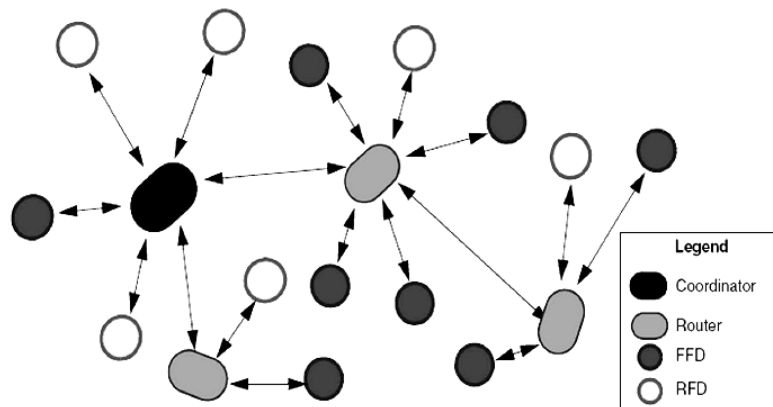


Figura 2.13. Topología en Árbol (Cluster Tree)

Muchos dispositivos son FFDs y los RFD pueden conectarse como un nodo único al final de la red. Cualquiera de los FFDs restantes puede actuar como coordinadores y proveer servicios de sincronización hacia otros dispositivos o coordinadores.

2.9.2.3 Topología en Malla

Una red en malla es similar a la red ramas de árbol, excepto que los FFDs pueden comunicarse directamente con otros FFDs, lo que no ocurre en la topología anterior. La ventaja de esta topología es que puede reducirse la latencia e incrementarse la confiabilidad.

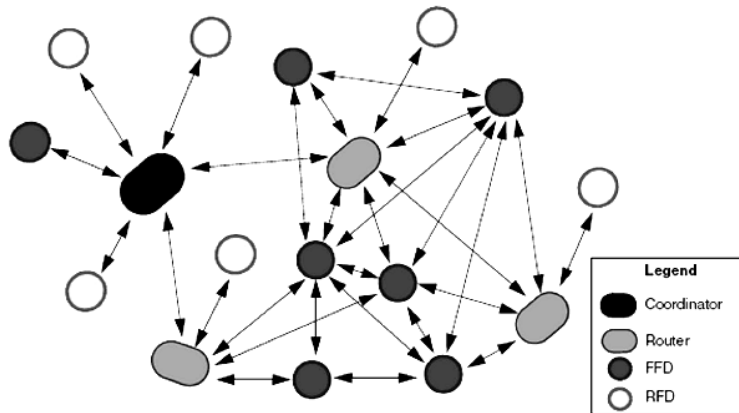


Figura 2.14. Topología en Malla

Las topologías de red en árbol y malla se las conocen también como redes multi salto (multi-hop), debido a las habilidades de enrutar los paquetes a través de múltiples dispositivos, mientras que la topología en estrella se la conoce como red simple salto (single-hop), debido a que el paquete realiza un único salto para llegar a su destino. La red ZigBee es una red multi acceso, principalmente porque todos los nodos en la red tienen igual acceso al medio de comunicación.

CAPÍTULO 3

3.1 Introducción

En este capítulo se describe en general los componentes del sistema implementado, así como los criterios que se tomaron en cuenta para su diseño, basados en la teoría planteada en el capítulo anterior. Esto con la finalidad de que el lector tenga una referencia para definir proyectos a futuro en los cuales le facilite la implementación del proyecto.

De igual manera se definen las etapas utilizadas a lo largo de la investigación, describiendo su funcionamiento así como sus características principales.

3.2 Descripción del sistema

Dentro de las consideraciones de diseño, de lo que ejecutara el sistema que se implementó, se tomó en consideración los requerimientos funcionales del mismo así como financieros, ya que un sistema que no define los alcances de funcionamiento y limitaciones, tiene una probabilidad ínfima de éxito.

En la figura 3.1 se muestra un esquema general del proyecto, cada etapa se describe más detalladamente a lo largo del capítulo.

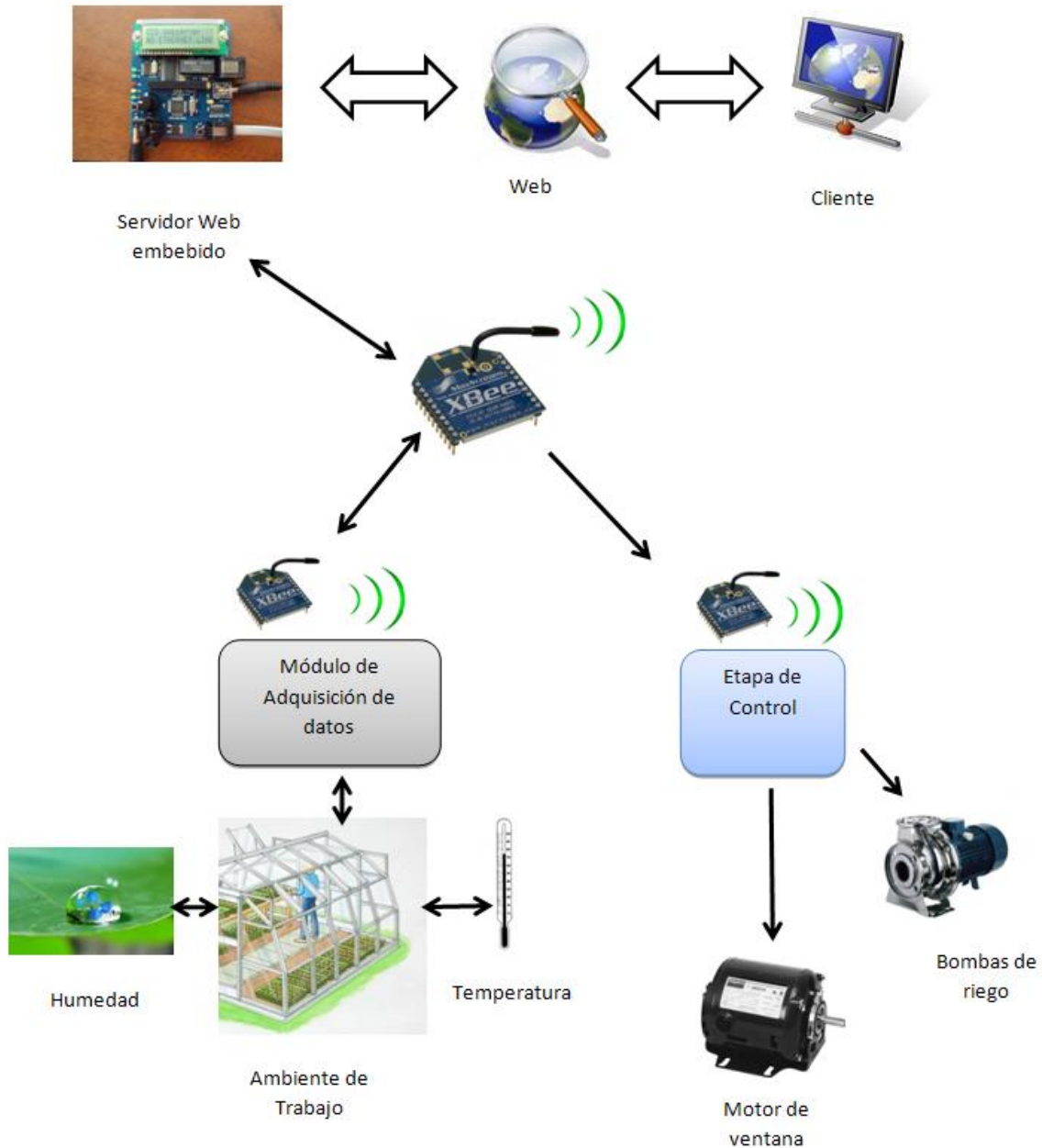


Figura 3.1. Sistema Web Embebido implementado

En este proyecto se requirió diseñar e implementar un sistema web que permita controlar los diferentes actuadores dentro de un invernadero (ventanas y bombas de riego) así como poder hacer un monitoreo de la temperatura y humedad dentro del mismo.

El diagrama de bloques del Sistema se presenta en la Figura 3.2. El módulo de adquisición de datos contará con los elementos necesarios para proporcionar las mediciones de temperatura y humedad que serán enviados para ser procesados por el microcontrolador.

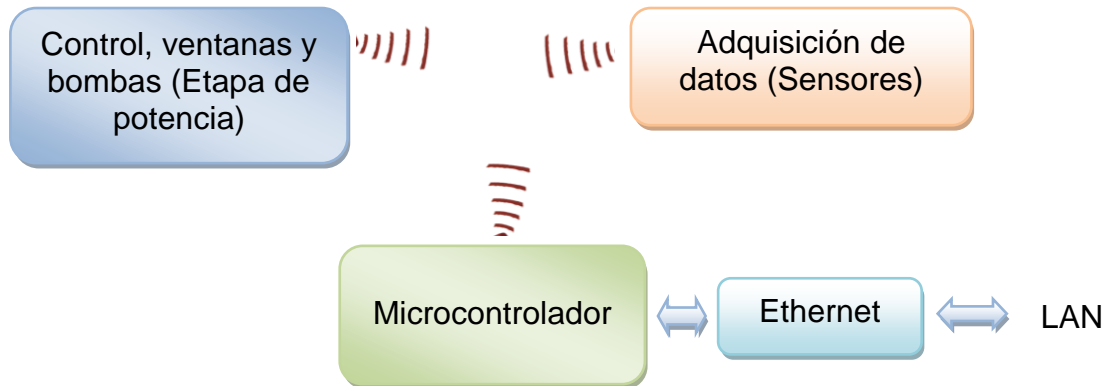


Figura 3.2. Sistema de control y monitoreo

Para realizar el control de los diferentes actuadores (motores y bombas), se puede seleccionar el encendido y apagado de los mismos de manera manual, dejándolo a elección del usuario. Para poder acceder a los datos (lecturas de temperatura, humedad y estado ON/OFF de la bomba de riego y la apertura de ventanas), se puede dirigir a la página web que se encuentra alojada en el dispositivo web embebido, digitando en un navegador web la dirección IP del sistema.

Se utilizó direccionamiento estático para asignar una IP al Sistema Web Embebido, pues se recomienda utilizar este tipo de direccionamiento para servidores.

3.3 Sistema de comunicación inalámbrico

Como se planteó en un comienzo la comunicación de los módulos de control y adquisición de datos con el servidor web, se realizaran de manera inalámbrica por medio de la tecnología ZigBee™/802.15.4.

3.3.1 Características de los módulos utilizados

Tomando en consideración las características que se presentación a continuación se optó por utilizar los Módulos de RF ZigBee™/802.15.4 fabricados por MaxStream, Inc. (XBee-PRO) (figura 3.3), para el desarrollo del sistema inalámbrico.



Figura 3.3. XBee Pro

Características

- Alcance para ambientes interiores / zonas urbanas: hasta 300' (100 m)
- Alcance en Línea de Visión para exteriores (con antena dipolo): hasta 4000ft (1200 m)
- Potencia de Salida de Transmisión: 100 mW (20 dBm) EIRP
- Corriente de Recepción: < 10 μ A
- Frecuencia de Operación: 2.4 GHz
- Velocidad de datos en RF: 250,000 bps

Modernidad en seguridad y Redes

- DSSS Direct Sequence Spread Spectrum (Espectro de Dispersión de Secuencia Directa).
- Cada canal de secuencia directa tiene sobre 65.000 únicas direcciones de red habilitadas.
- Direccionamiento de origen y destino.
- Comunicación Unicast y Broadcast.
- Soporta topologías Punto-punto, Punto-multipunto y Peer-to-peer (Igual igual).
- Bajo consumo de potencia
 - Corriente de TX: 215 mA (@3.3 V)
 - Corriente de RX: 55 mA (@3.3 V)
 - Corriente Power-down: < 10 μ A

Fácil de usar

- No es necesaria la configuración para comunicaciones RF.
- Incluye software X-CTU gratis (Software de testeo y configuración).
- Comandos en modo AT y API para los parámetros del módulo.
- Amplio conjunto de comandos.

3.4 Servidor Web Embebido

Para la implementación y desarrollo del servidor embebido se utilizó, un Kit de desarrollo que se muestra en la figura 3.4 desarrollado por la compañía Custom Computer Services, Inc. (CCS), el cual cuenta con todos los recursos necesarios para la implementación de sistemas que utilicen Ethernet, además de contar con material didáctico que facilita su uso, y una buena documentación que permite un mejor entendimiento del uso.

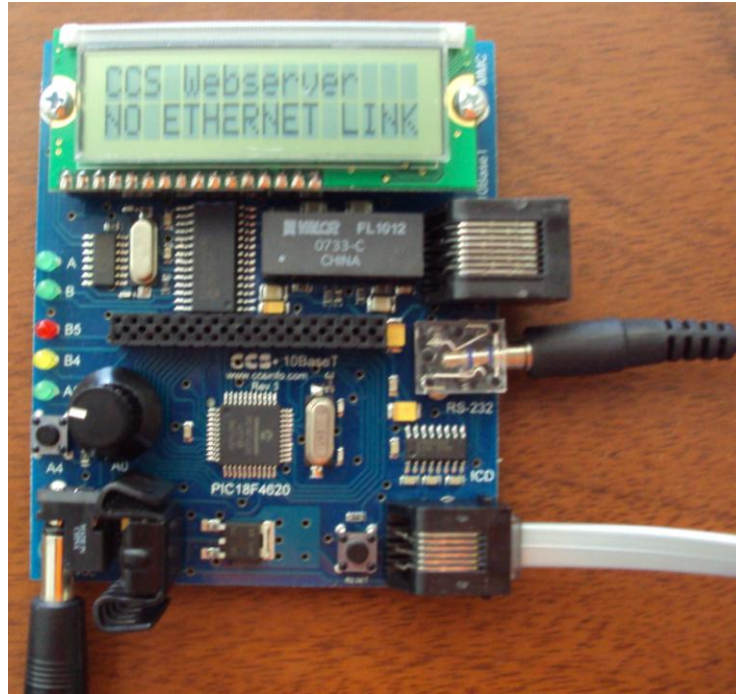


Figura 3.4. Development Kit for the PIC® MCU Embedded Ethernet

A continuación se muestra una breve descripción de los componentes del kit de desarrollo.

3.4.1 Microcontrolador

Como se mencionó en capítulo 2, los microcontroladores son herramientas que se encuentran en diversos dispositivos, debido a las grandes prestaciones y versatilidad de estos dispositivos de acoplarse a diferentes sistemas, el microcontrolador utilizado fue el PIC18F4620, una de sus características principales es la cantidad de memoria RAM, la cual es necesaria para poder almacenar toda la memoria de programa utilizada para el servidor, así como también para la descripción de la página web, en la tabla 3.1 se muestran sus principales características.

N° Pines	Memoria flash de programa (Kbyte)	SRAM(Byte)	EEPROM (bytes)	Timer 8/16-bit	PWM	UART	SPI	I ² C	10 bit ADC	Pines de entrada/Salida
40	64	3968	1024	1/3	1	1	1	1	1 ADC, 13 canales	36

Tabla 3.1 Características del PIC18F4620

3.4.2 Controlador ENC28J60

El ENC28J60 es un controlador Ethernet con un Interfaz periférica serial (SPI) estándar industrial (Figura 3.5). Está diseñado para ser utilizado como una interfaz de red Ethernet para cualquier controlador equipado con SPI. También provee un módulo DMA (acceso directo de memoria) interno, que brinda velocidad a la transmisión de los datos y operaciones de verificación de errores IP, apoyadas por el hardware. La comunicación con el controlador del host se implementa a través de dos pines interruptores y del SPI, con un promedio de datos de hasta 10 Mb/s. El chip tiene 28 pines (Figura 3.5) y tiene pocos componentes externos, por eso puede ser utilizado con facilidad en cualquier aplicación.

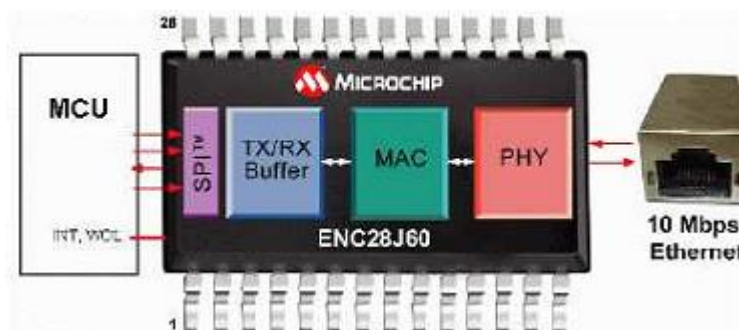


Figura 3.5. Controlador ENC28J60

Características del Controlador ENC28j60

- Compatible con IEEE 802.3.
- Soporta la capa MAC y Física con el estándar 10Base+ T
- Soporta los modos de comunicación Full y Half-Duplex.
- Retransmisión automática programable cuando hay colisión.
- Interfaz SPI con velocidades de hasta 10Mbits.
- 8-KByte de transmisión/recepción de paquetes de doble puerto SRAM.
- Interior DMA para una rápida circulación de datos.
- Siete fuentes de interrupción, con dos pines de interrupción.
- Reloj de 25MHz.
- Rango de operación: 3, 5 voltios.

3.5 Sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos consta de un controlador digital de señales (DSC), para procesar las señales de los sensores incorporados en la tarjeta, además el sistema cuenta con diferentes periféricos como lo es un reloj de tiempo real y una memoria externa.

En la Figura 3.6 se pueden apreciar las partes principales que conforman el sistema, donde los sensores utilizados dependerán del tipo de variables que se deseen medir (en este caso temperatura y humedad), mientras que el resto de los elementos se comporta independientemente de los sensores elegidos.

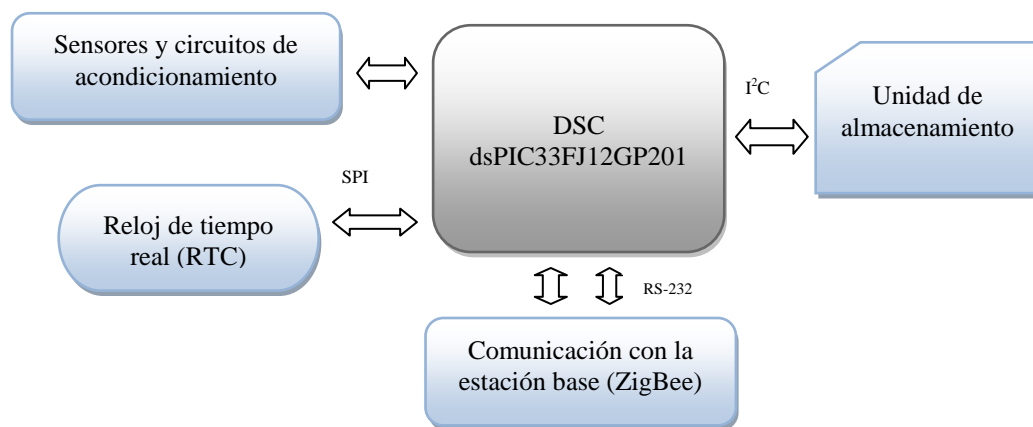


Figura 3.6. Módulo de adquisición de datos

A continuación se describe brevemente la función principal de cada componente que se muestra en la figura 3.6.

- **DSC:** Es el componente central, y se encarga de controlar todos los elementos del sistema y sincronizar las tareas.
- **Sensores:** Son los elementos del sistema encargados de proporcionar al controlador la información de las variables.
- **Reloj a tiempo real:** Informa de la fecha y hora actuales en cualquier momento.
- **Unidad de almacenamiento:** Dota a la tarjeta de adquisición de una capacidad física suficiente para almacenar toda la información captada por los sensores.
- **Comunicación con la estación base:** Son los medios necesarios para establecer una transmisión de datos entre el sistema y la estación base, para este caso son los módulos ZigBee.

3.5.1 Controlador Digital de Señales (DSC)

Se utilizó un DSC debido a que integra los atributos un microcontrolador, con la eficiencia de cómputo y rendimiento de un procesador digital de señales, o DSP, tomando en cuenta que son mucho más baratos que los DSPs, las características de estos dispositivos y el gran número de módulos que incorporan los convierte en una excelente opción, por lo cual se decidió utilizar un DSC (dsPIC33FJ12GP201), el cual en un pequeño encapsulado de 18 pines cuenta con todas las características y módulos requeridos por el módulo de adquisición de datos, una característica importante es que muchos de sus periféricos son remapeables, esto quiere decir que podemos cambiar la funcionalidad del mismo, y así poder utilizar al máximo los periféricos incorporados en el controlador.

			Periféricos remapeables									
N° Pines	Memoria flash de programa (Kbyte)	RAM(Kbyte)	Pines remapeables	Timer 16-bit	Módulo de captura	PWM	UART	Interrupciones externas	SPI	I ² C	10-12 bit ADC	Pines de entrada/salida
18	12	1	8	3	4	2	1	3	1	1	1 ADC,6 canales	13

Tabla 3.2 Características del dsPIC33FJ12GP201

3.5.2 Sensor De Temperatura y Humedad

Se utilizó un sensor digital de alta precisión SHT11 (Figura 3.7) para medir humedad relativa y temperatura. El sensor tiene una memoria con factores de calibración grabados para cada sensor tras el proceso de fabricación, esto garantiza total exactitud en el proceso de medición. Se comunica por medio de una interfaz digital de dos líneas (datos y reloj).

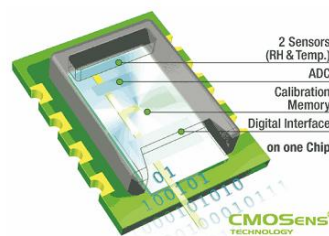


Figura 3.7 Sensor SHT11

Características

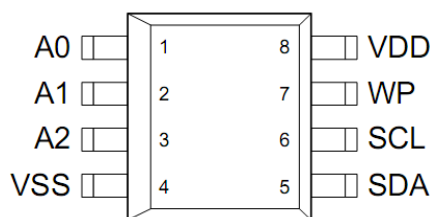
- No necesita componentes externos, está totalmente integrado
- Proporciona una salida digital calibrada
- Rango de medida de 0-100% HR y de 40°C a 120°C
- Precisión absoluta de la humedad relativa de $\pm 3\%$ HR

3.5.3 Reloj de tiempo real

Con la idea de poder registrar la información de manera ordenada añadiendo información sobre la fecha y hora de las medidas realizadas, así como de una posible ampliación de las capacidades de la tarjeta de adquisición de datos, como lo sería la función de datalogger y poder realizar mediciones de forma programada, se ha optado por la inclusión de un reloj de tiempo real a la tarjeta de adquisición de datos diseñada. El dispositivo en concreto es el DS1302 del fabricante Dallas Semiconductor. El integrado es capaz de alimentarse de una pequeña batería de litio de 3V y estar en funcionamiento durante un periodo aproximado de 10 años. Mediante un bus de datos, el DS1302 informará al microcontrolador sobre la hora y fecha siempre que éste lo solicite.

3.5.4 Dispositivo de almacenamiento

Existen diferente tipos de memorias no volátiles, una de las más utilizadas son las memorias EEPROM, la cuales poseen una desventaja ,el número limitado de ciclos de lectura y escritura, lo cual representa un gran inconveniente para un sistema que constantemente estará realizando mediciones y guardando dichos datos, por lo cual se tomó en consideración el uso de una memoria RAM ferro eléctrica, la cual se presenta como un remplazo directo de una memoria EEPROM, pero a diferencia esta posee un número ilimitado de ciclos de lectura y escritura, el dispositivo propuesto fue la memoria FM24CL64 (Figura 3.8), la cual posee la características requeridas por el sistema.



PIN	Función
A0,A1,A2	Dirección del dispositivo
SDA	Dato serial
SCL	Señal de reloj
VSS	Tierra
VDD	Voltage de alimentación

Figura 3.8. Memoria feRAM

Características

- 64Kbit , organizados en 8192x8 bits
- Ilimitados ciclos de lectura/escritura
- Retencion de los datos por 45 años
- No retardos en la escritura
- Bajo consumo de energia,
 - Voltage de operación 2.7V-3.6V
 - 75 μ A en estado activo (100KHz)
 - 1 μ A en estado de espera

A continuación se muestra el diseño (Figura 3.9) propuesto del módulo de adquisición de datos, este se realizó en la herramienta de diseño electrónico Proteus Virtual System Modelling (VSM), el cual nos permite realizar una completa simulación, tanto de los sistemas analógicos como digitales, y también teniendo la ventaja de poder simular los microcontroladores, estas herramientas nos ayudan a depurar el firmware del sistema y así detectar fallas en la programación, esto es de gran ayuda a validar el diseño antes de realizar su implementación física.

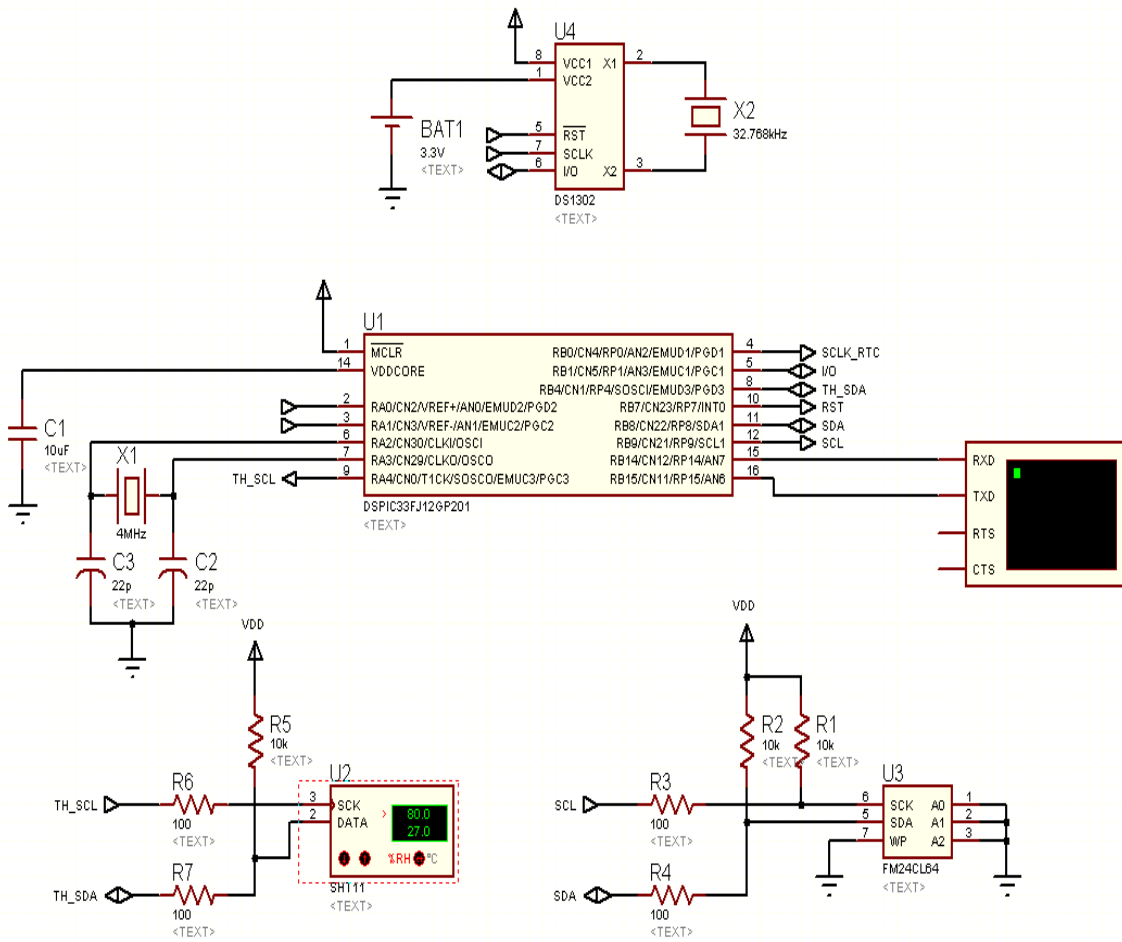


Figura 3.9. Circuito esquemático del sistema de adquisición de datos

3.6 Etapa de control

La etapa de control es parte fundamental del proyecto, está conformada por múltiples elementos que se describen brevemente, en la figura 3.10 se puede apreciar un esquema de la etapa de control.

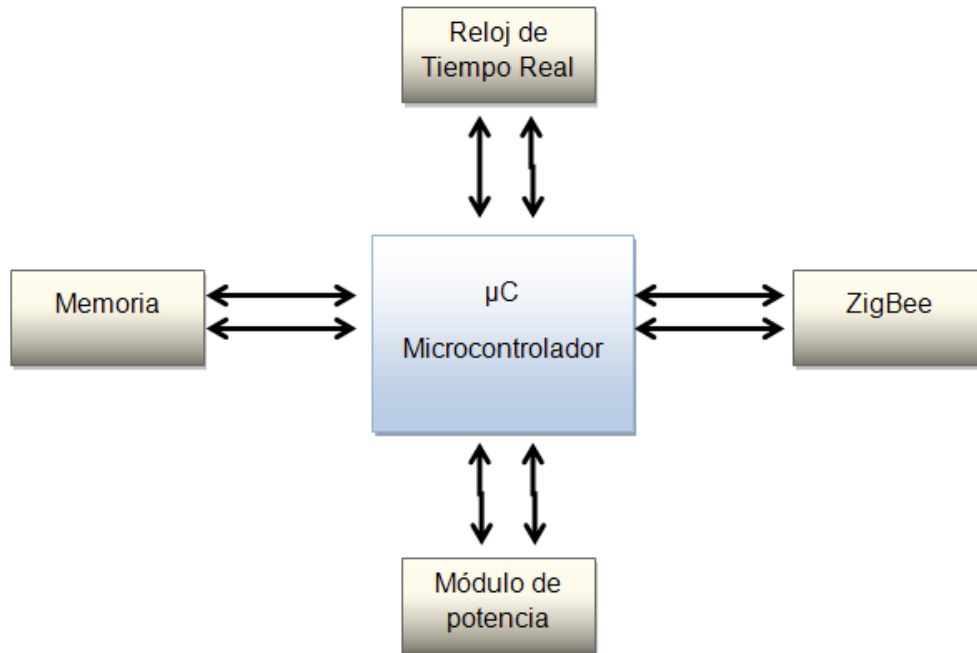


Figura 3.10. Esquema general de la etapa de control

A continuación se describe brevemente la función principal de cada componente que se muestra en la figura 3.6.

- **Microcontrolador:** Es el componente central, y se encarga de procesar las peticiones del cliente del control ON/OFF de los actuadores.
- **Etapa de potencia:** Esta es la encargada de proporcionar el accionamiento de los actuadores (bombas de riego, motores de puertas y ventanas).
- **Reloj a tiempo real:** De igual manera que le módulo de adquisición de datos se incorporó un reloj de tiempo real para agregar funciones

adicionales a la etapa de control como lo sería el control ON/OFF programado por horarios, para el desarrollo de futuras aplicaciones.

- **Unidad de almacenamiento:** Dota a la tarjeta de control de una capacidad de almacenar horarios programados para el encendido y apagado de los actuadores de forma automática, lo cual permitirá generar mejoras en el sistema.
- **Módulo ZigBee:** Provee los medios necesarios para la comunicación con la estación base, que sería el servidor web.

3.6.1 Etapa de potencia

Es fácil apreciar en el módulo de control, que una de las partes importantes es la etapa de potencia, dicha etapa está conformada de circuitos básicos de potencia y económicos.

En el esquemático de la figura 3.11 se aprecia el diseño propuesto para la etapa de potencia utilizada en la etapa de control.

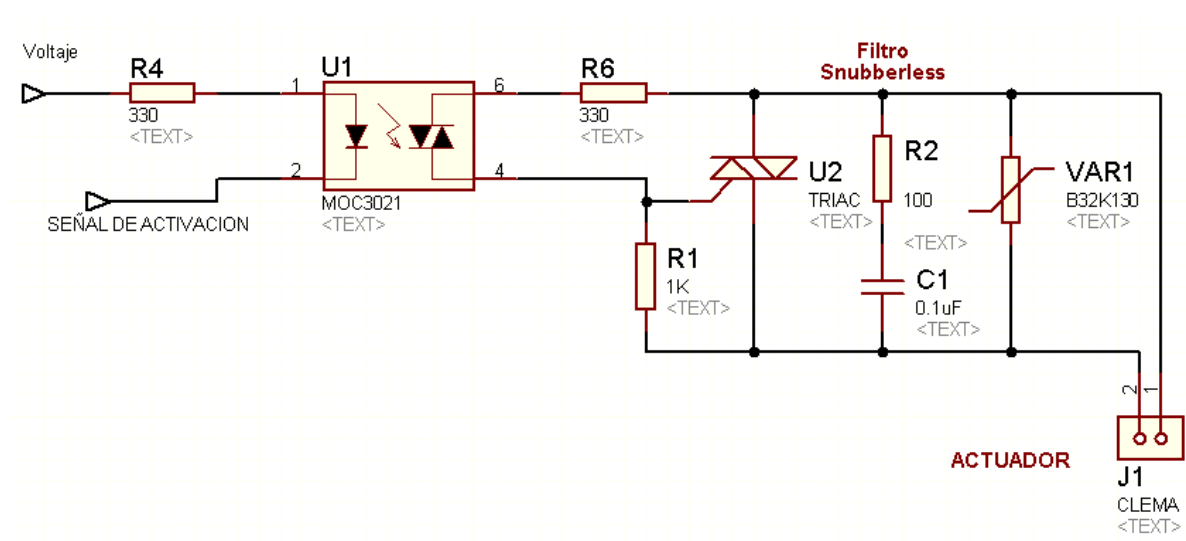


Figura 3.11. Esquemático de la etapa de potencia

La explicación de la etapa de potencia es breve como se puede observar en realmente no requiere de muchos componentes. En la figura 3.11 podemos apreciar los componentes empleados, que se describen a continuación.

- **Optoaislador** (MOC3021): Este proporciona la protección para el microcontrolador, ya utiliza niveles bajos de voltaje de DC, mientras que los actuadores utilizan niveles altos de voltaje de AC. Este optoaislador no es necesario que sea el que se plantea en el circuito, puede ser cualquier otro siempre y cuando cumpla con las características requeridas.
- **Triac**: Es un circuito de potencia activado por corriente el cual al ser activado permite el flujo de la corriente de AC.
- **Filtro Snubberles**: Utilizado eliminar los problemas comunes que provocan el disparo del triac cuando crece la tensión aplicada sobre las terminales principales, como lo son las cargas que se acumulan en las proximidades del gate (compuerta) durante el ciclo de conducción y no desaparecen por recombinación cuando la corriente del triac disminuye, y las que no son extraídas por la corriente inversa de recuperación cuando el triac está bloqueado.
- **Varistor**: El varistor protege el circuito de variaciones y picos bruscos de tensión. Se coloca en paralelo al circuito a proteger y absorbe todos los picos mayores a su tensión nominal.

La etapa de potencia que se aprecia en la figura 3.11 es la que se utilizaría para un actuador, por ejemplo, si se requiriera que el control activara 5 bombas, por consiguiente deberá implementar 5 circuitos como el que se muestra en el esquemático, y por ende se requerirían la misma cantidad de señales de control por parte del microcontrolador.

CAPÍTULO 4

4.1 Análisis y Resultados

Finalmente, se tienen que realizar las pruebas respectivas para determinar si el diseño cumple con los objetivos planteados. Antes de la implementación del mismo en hardware se debe comprobar su funcionamiento por software para evitar daños a los dispositivos adquiridos, para posteriormente hacer la placa de circuito impreso.

4.1.1 Medición de Temperatura y humedad

Para realizar las pruebas de la medición de la temperatura y humedad, se utilizó la herramienta de software X-CTU proporcionada por MaxStream, en la cual se probaron los comandos implementados en el prototipo del módulo de adquisición de datos (Figura 4.1), a continuación en la tabla 4.1 se muestran los comandos utilizados.

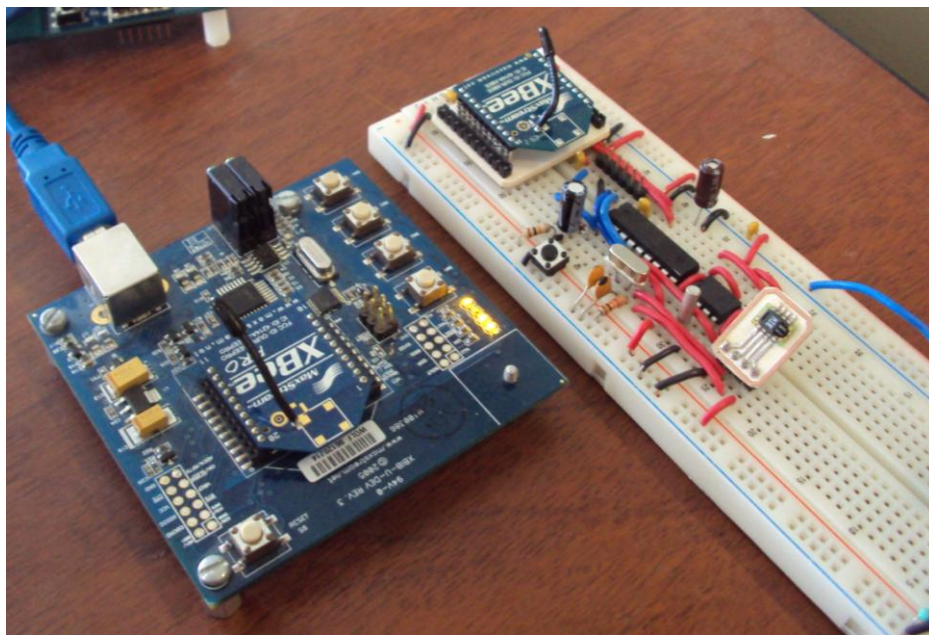


Figura 4.1. Prototipo del módulo de adquisición de datos

Comando	Función
H+	Devuelve el valor de la temperatura en C°
T+	Devuelve el valor de la humedad relativa en %
sRTC/día/mes/año/día de la semana/hora/minutos	Establece la fecha y RTC ,Ejemplo 28/07/10/03/10/10, Miércoles 28 de julio de 2010
gRTC	Obtiene la fecha y hora del RTC

Tabla 4.1 Comandos para el sistema de adquisición de datos.

Para la configuración de los módulos de comunicación ZigBee, (figura 4.2), se empleó la herramienta X-CTU, la cual nos permite obtener todas las características del modem utilizado, así como poder configurar el mismo.

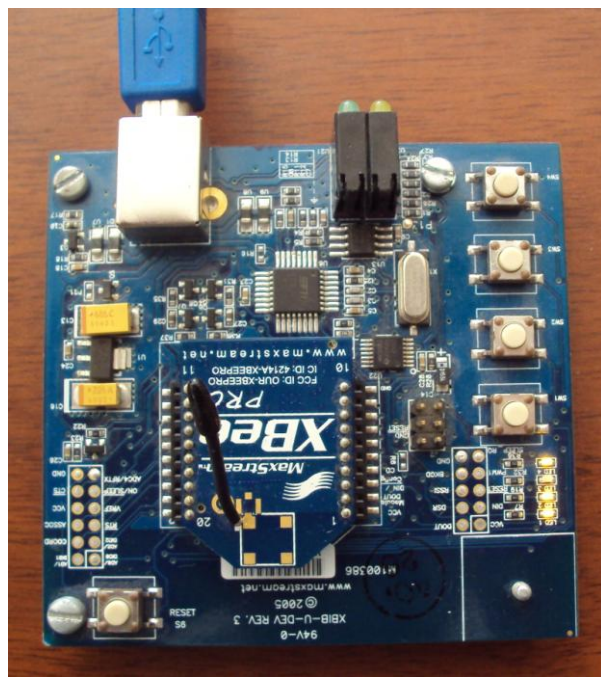
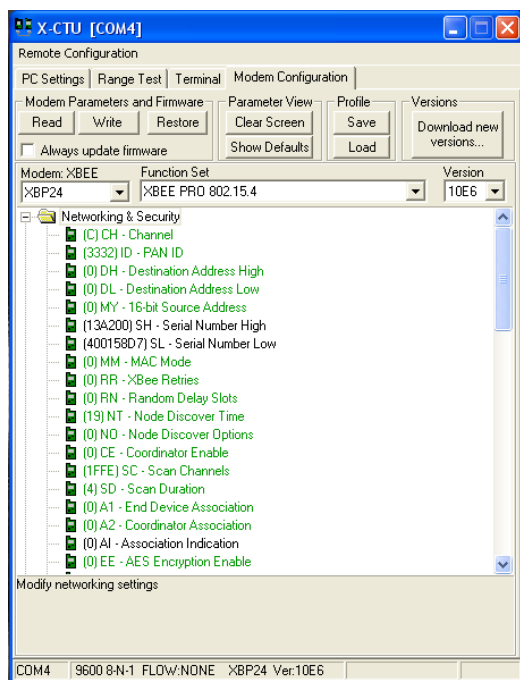


Figura 4.2. Software X-CTU y base para configuración del módulo

Mediante esta herramienta se configuran las características del módulo, así mismo podemos restaurar los valores predeterminados o actualizar el firmware.

A continuación en la figura 4.3 se muestra los resultados obtenidos de la comunicación con la estación.

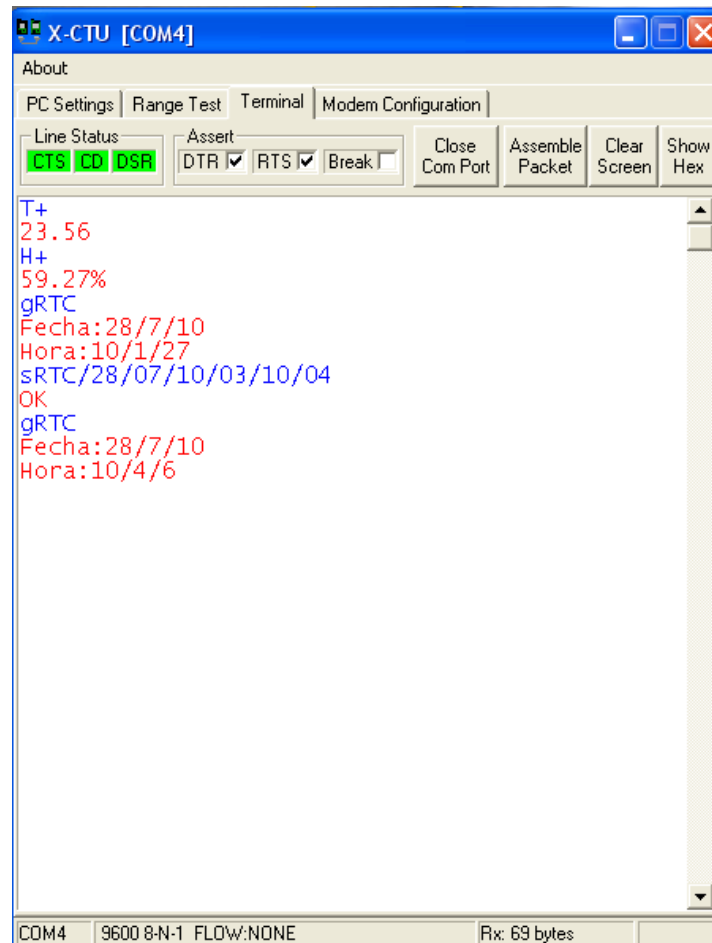


Figura 4.3. Resultados de las pruebas de los comando del modulos de adquisición de datos

Como una observación la distancia máxima y los obstáculos entre el módulos de adquisición de datos y la estación base, se deben tomar en consideración, para así poder garantizar la correcta comunicación con los módulos, de lo contrario se obtendría resultados erróneos en las mediciones.

4.1.2 Pruebas de sistema de potencia

En sistema de potencia implementado (figura 4.4), planteado en el capítulo 3, funciono correctamente, el sistema de potencia se implementaron los siguientes comandos de la tabla 4.2 para el control del invernadero, este cuenta con cuatro ventanas y dos bombas de riego, para realizar el control de subir y bajar las ventanas se requieren de dos etapas de potencia, para poder realizar el cambio de giro del motor, además el controlador incrustado, contiene reglas de seguridad para evitar un daños al equipo, por ejempló, si se está abriendo o cerrando una ventana, un cambio repentino en el comando de apertura o cierre podría ocasionar un corto circuito si no se anula el comando de apertura o cierre que se encuentre en ejecución.

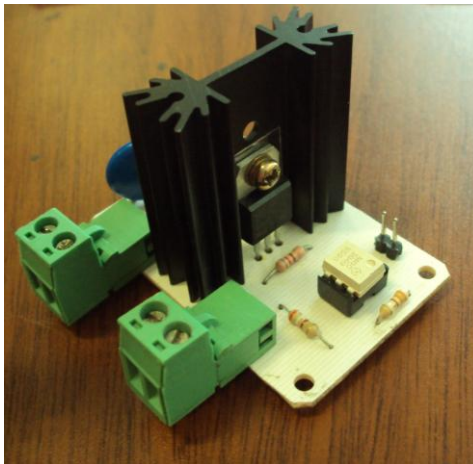


Figura 4.4 Circuito de potencia

Comando	Función
V1+ ,,V4+	Abrir la ventana asignada al comando
V1- ,,V4-	Cerrar la ventana asignada al comando
B1on,B2on	Encender bomba de riego
B1off,B2off	Apagar bomba de riego

Tabla 4.2 Comandos del controlador ON/OFF

4.1.3 Pruebas de la comunicación con el servidor web

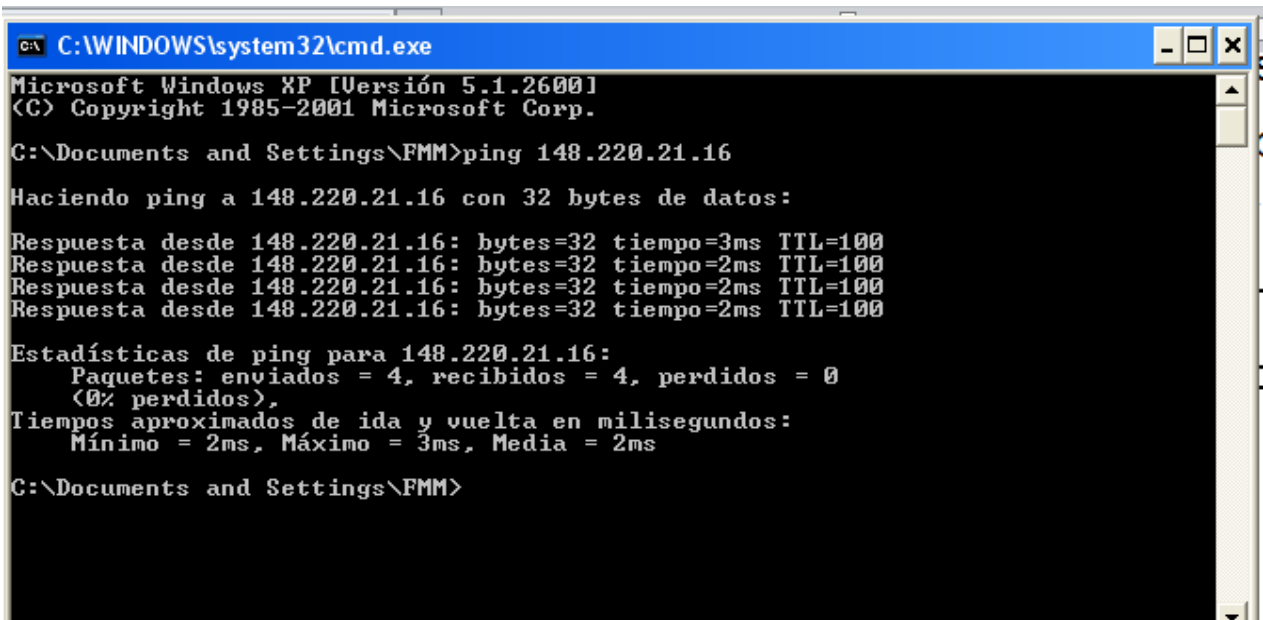
4.1.3.1 Comando Ping

Es una utilidad para probar la conectividad IP entre hosts. Ping envía solicitudes de respuestas desde una dirección host específica. Ping usa un protocolo de capa 3 que forma parte del conjunto de aplicaciones TCP/IP como es ICMP.

Si el host en la dirección especificada recibe la solicitud de eco, éste responde con un datagrama de respuesta de eco ICMP. En cada paquete enviado, el ping mide el tiempo requerido para la respuesta. A medida que se recibe cada respuesta, el ping muestra el tiempo entre el envío del ping y la recepción de la respuesta. Ésta es una medida del rendimiento de la red. Ping posee un valor de límite de tiempo de espera para la respuesta. Si no se recibe una respuesta dentro de ese intervalo de tiempo, el ping abandona la comunicación y proporciona un mensaje que indica que no se recibió una respuesta.

Después de enviar todas las peticiones, la utilidad de ping provee un resumen de las respuestas. Este resumen incluye la tasa de éxito y el tiempo promedio del recorrido de ida y vuelta al destino.

En la Figura 4.5 se muestran los resultados obtenidos, para probar la comunicación con el servidor web, el cual posee una dirección IP estática 148.220.21.16, la cual se encuentra guardada en la memoria de programa del microcontrolador, la ejecución de comando ping así como los resultado obtenidos de la comunicación exitosa por parte del servidor web.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\FMM>ping 148.220.21.16

Haciendo ping a 148.220.21.16 con 32 bytes de datos:

Respuesta desde 148.220.21.16: bytes=32 tiempo=3ms TTL=100
Respuesta desde 148.220.21.16: bytes=32 tiempo=2ms TTL=100
Respuesta desde 148.220.21.16: bytes=32 tiempo=2ms TTL=100
Respuesta desde 148.220.21.16: bytes=32 tiempo=2ms TTL=100

Estadísticas de ping para 148.220.21.16:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 2ms, Máximo = 3ms, Media = 2ms

C:\Documents and Settings\FMM>
```

Figura 4.5 Resultados de la prueba de conexión con el servidor utilizando el comando ping.

En la Figura 4.6 se muestra el diseño, que es muy sencillo de la página web desarrollada para ser albergada en el servidor, esta se utiliza como una interfaz de usuario para poder enviar los comandos de control para los módulos de potencia y de adquirente de datos, en la página web cuenta con los controles para subir o bajar cuatro ventanas de un invernadero así como encender una bomba de riego.



Figura 4.6 Diseño de la pagina web del sistema de control

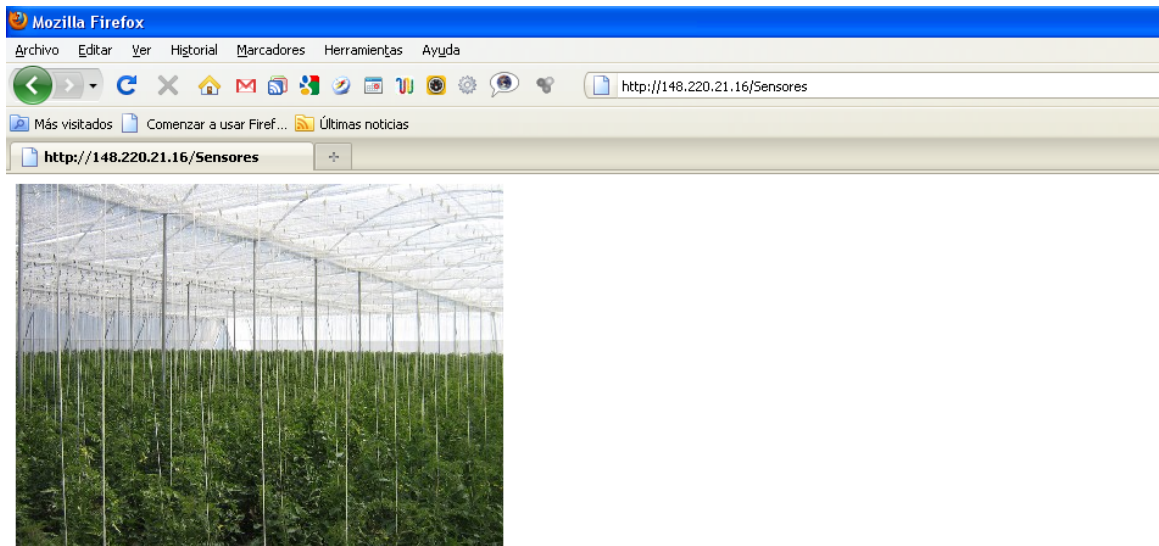


Figura 4.7. Diseño de la pagina web del sistema de adquisición de datos

CONCLUSIONES

- El poder contar tecnologías inalámbricas aplicadas dentro de un invernadero proporciona muchas prestaciones y posibilidades, ya que el poder tener el control de diferentes dispositivos a distancia sin la necesidad de un cableado, presenta una gran ventaja ya que los invernaderos suele ser áreas extensas.
- Mediante el uso de tecnologías de redes, como el internet se pueden agregar una mayor funcionalidad a los sistemas de control, pudiendo monitorear los mismos desde cualquier punto con acceso a internet.
- Se implementó el firmware del sistema con funciones y procedimientos enfocados a utilizar el menor espacio de memoria, así como también se desarrollaron algoritmos que puedan ser fácilmente adaptados para futuras aplicaciones o mejoras del sistema, que finalmente la intención del desarrollo del sistemas es proporcionar las bases para futuros proyectos y mejoras del mismo.
- Para darle una parte de confiabilidad al sistema se utilizó el protocolo TCP, ya que implementa control de flujo y solicita la retransmisión de paquetes si ha detectado errores en la información.

Futuras aplicaciones o desarrollos

Dada la gran versatilidad del sistema propuesto se pueden realizar numerosas mejoras en los sistemas de control, por ejemplo se podrían incrustar algoritmos de control inteligente en los diferentes módulos pudiendo de esta manera efectuar acciones automáticas para el control y cuidado de los cultivos bajo invernadero.

Así como también se puede mejorar el diseño y seguridad del servidor web embebido, creando un control de usuarios protegido por contraseña, un sistema del control por horarios, pudiendo el usuario crear rutinas para el accionamiento de los actuadores a una hora específica del día, así como dotar al sistema con algún dispositivo de almacenamiento masivo de datos, para crear una base de datos de numerosos sensores.

LITERATURA CITADA

- [1] Advanced PIC Microcontroller Projects in C from USB to RTOS with the PIC18F Series Dogan Ibrahim).
- [2] TCP/IP Embedded Internet Applications, Edward Insam PhD, BSc
- [3] © 2006 MaxStream, Inc., Confidential & Proprietary, “802.15.4 and ZigBee™”, Manual de documentación.
- [4] Tendencia y aplicaciones de los sistemas embebidos, fundación OPTI (Observatorio de prospectiva tecnológica industrial).
- [5] “Embebbed Systems: Research Challenges and work directions”, ARTEMIS Annual conference 2007 Berlin, 4 de junio de 2007.
- [6] Barr, Michael. Programming Embedded Systems. With C and GNU Development Tools. O’Reilly. 2006.
- [7] Berger, Arnold. Embedded Systems Design: An Introduction to Processes, Tools and Techniques. CMP Books. 2002.
- [8] Catsoulis, J. Designing Embedded Hardware. O’Reilly. 2005.
- [9] Programming 32-bit Microcontrollers in C Exploring the PIC32, Lucio Di Jasio
- [10] Microcontroller Based Applied Digital Control D. Ibrahim
- [11] El estándar IEEE 802.15.4
- [12] Application note AN833-The Microchip TCP/IP Stack, Author: Nilesh Rajbharti, Microchip Technology Inc.

APENDICE

HOJAS DE DATOS CONSULTADAS

- <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/80327D.pdf>
5-Mayo-2010
- <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39626e.pdf>
8-Mayo-2010
- <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39662c.pdf>
14-Mayo-2010
- <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS1302.pdf>
16-Mayo-2010
- <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MOC3021.pdf>
01-Junio-2010
- http://www.digi.com/hottag.jsp?ht=/pdf/ds_xbeedigimesh24.pdf
01-Junio-2010
- <http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/7471.pdf>
03-Junio-2010
- http://www.ramtron.com/files/datasheets/FM24CL64_ds.pdf
05-Junio-2010
- http://www.ccsinfo.com/product_info.php?products_id=embethkit
10-Julio-2010
- <http://www.sensirion.com/images/getFile?id=25>
15-Julio-2010

RECOMENDACIONES

- Si se requiere implementar Bases de datos embebidas por ejemplo para registrar la temperatura y humedad a lo largo del día se recomienda agregar un dispositivo de memoria al sistema.
- Debido a que el sistema no es seguro, se puede implementar algoritmos de encriptación para evitar que usuarios no autorizados accedan a la información mediante herramientas como los analizadores de protocolos.