



# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **EXTENSIÓN LATACUNGA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E  
INSTRUMENTACIÓN**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO EN INSTRUMENTACIÓN**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DATA  
LOGGER ENLAZADOS CON UNA RED ZIGBEE, PARA  
REGISTROS DE DATOS DE VARIABLES AMBIENTALES”**

**WILLIAM PATRICIO TIGSE BRAVO**

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2010**

**A**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos, que el presente proyecto de grado fue desarrollado en su totalidad por el señor: WILLIAM PATRICIO TIGSE BRAVO, previo a la obtención de su título de Ingeniero Electrónico en Instrumentación.

Latacunga, Junio del 2010

---

Ing. César Naranjo  
DIRECTOR

---

Ing. Galo Ávila  
CODIRECTOR

## **AUTORIZACIÓN**

Yo William Patricio Tigse Bravo, como autor de la tesis “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DATA LOGGER ENLAZADOS CON UNA RED ZIGBEE, PARA REGISTROS DE DATOS DE VARIABLES AMBIENTALES”, autorizo la publicación del presente proyecto de grado en la biblioteca virtual de la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga

Latacunga, Junio del 2010

---

William Tigse Bravo

## **DECLARACIÓN**

Yo William Patricio Tigse Bravo, declaro que soy el autor y responsable de la tesis "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DATA LOGGER ENLAZADOS CON UNA RED ZIGBEE, PARA REGISTROS DE DATOS DE VARIABLES AMBIENTALES".

Latacunga, Junio del 2010

---

William Tigse Bravo

## **AGRADECIMIENTO**

A los Ingenieros César Naranjo y Galo Ávila quienes tuvieron una acertada dirección en el proyecto, quienes estuvieron como guías y consejeros oportunos, para lograr mí objetivo principal.

A la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga por los conocimientos que cada uno de los docentes impartieron a lo largo de mi vida universitaria, para que en la vida profesional me permita obtener todas mis metas en el campo laboral.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Wilson Través por brindarme su colaboración desde el inicio y hasta la finalización del proyecto.

## DEDICATORIA

A **Dios** por día a día permitirme cumplir todos mis sueños.

A mis queridos y amados padres **Luis y Beatriz** por todos los consejos, amor y sabiduría que en toda mi vida me han sabido dar, brindándome toda su confianza para poder salir en adelante.

A mis hermanos **Gracie y Gustavo** por ser mi ejemplo, ya que con sus sabios consejos me han permitido crecer intelectualmente.

A mis peques **Alex y Ángeles**, con su ternura han logrado enseñarme muchas cosas.

A mis abuelitas **E. & E.** a pesar de que no están físicamente conmigo pero están siempre en mi corazón.

Y sobre todo a una persona muy especial **Adri@**, quien ha sido uno de mis pilares fundamentales para lograr mi gran sueño.

*Pato*

# CONTENIDO

	Pág.
<b>CAPÍTULO I: DATA LOGGER.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1 Características principales.....	1
1.1.2 Tipos de marcas de Data Logger.....	2
1.1.3 Ventajas y Desventajas de un Data Logger.....	5
1.1.4 Campos de Aplicación.....	6
1.2 RED ZIGBEE.....	7
1.2.1 Introducción.....	7
1.2.2 Características de la Red ZIGBEE.....	7
1.2.3 Arquitectura.....	8
1.2.4 Empaquetamiento y direccionamiento.....	10
1.2.5 Seguridad.....	13
1.2.6 Tipos de dispositivos.....	13
1.2.7 Modelo de la Red ZIGBEE.....	14
1.2.8 Comparativa de la tecnología Wireless.....	15
1.2.9 Aplicaciones.....	17

1.2.9.1	Aplicaciones de Alto Nivel.....	19
1.3	TRANSCEIVERS.....	21
1.3.1	Introducción.....	21
1.3.2	Generalidades.....	21
1.3.3	Aplicaciones.....	23
1.4	MICROCONTROLADORES PIC's.....	24
	Ventajas de los microcontroladores PIC de Microchip.....	24
1.4.1	Conceptos Básicos.....	24
	Familias de microcontroladores PIC.....	24
1.4.2	Características generales.....	25
	Familia PIC18F.....	25
	Características fundamentales.....	25
1.4.3	Microcontrolador PIC18F4550.....	26
1.4.3.1	Organización de memoria.....	27
1.4.3.2	Memoria de Configuración.....	28
1.4.3.3	Arquitectura HARDVARD.....	29
1.4.3.4	Memoria de programa.....	30
1.4.3.5	Almacenamiento de instrucciones en memoria.....	31
1.4.3.6	Contador de programa (PC).....	31
1.4.3.7	La pila de dirección.....	32
1.4.3.8	Pila rápida de registro.....	33
1.4.3.9	Memoria RAM de datos.....	33
1.4.3.10	Modos de direccionamiento.....	34
1.4.3.11	Memoria EEPROM de datos.....	37
1.4.3.12	Sistema de interrupciones.....	37
1.4.3.13	Unidades funcionales.....	39
1.4.3.14	Puertos de E/S.....	40
	PUERTO A.....	41
	PUERTO B.....	41
	PUERTO C.....	42
	PUERTO D.....	43



Módulo R.F.....	59
PC.....	59
uC.....	59
<b>2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS.....</b>	<b>60</b>
2.3.1 Sistema Electrónico.....	60
2.3.1.1 Acondicionamiento de Voltaje.....	60
Acondicionamiento de Voltaje de 12V a 5Vcc.....	60
Acondicionamiento de Voltaje de 12V a 3.3 Vcc.....	61
2.3.1.2 Amplificación de la señal de voltaje del sensor.....	62
2.3.1.3 Acondicionamiento de Corriente a Voltaje.....	63
2.3.2 Sistema de Comunicación.....	64
2.3.2.1 Comunicación módulo Zigbee – PIC18F4550.....	64
2.3.2.2 Comunicación Maestro – Esclavos.....	65
2.3.2.3 Comunicación Maestro – PC.....	65
2.3.2.4 Comunicación PIC18F4550 – Memorias.....	65
<b>2.4 MANIPULACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS DE R.F..</b>	<b>66</b>
2.4.1 Configuración del módulo Xbee PRO.....	68
2.4.1.1 Configuración Módulo Xbee PRO Maestro.....	70
2.4.1.2 Configuración Módulo Xbee PRO Esclavo 1.....	72
2.4.1.3 Configuración Módulo Xbee PRO Esclavo 2.....	74
<b>2.5 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR.....</b>	<b>78</b>
<b>2.6 CONSTRUCCIÓN DE PLACAS ENSAMBLAJE DEL DATA LOGGER</b>	<b>80</b>
2.6.1 Construcción de la placa principal del Data Logger.....	80
2.6.2 Construcción de la placa para las memorias.....	83
2.6.3 Construcción de la placa para la configuración del Zigbee PRO	84
<b>2.7 DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA.....</b>	<b>84</b>
Grupo de botones.....	85

2.8 ACOPLAMIENTO DEL SISTEMA TOTAL.....	87
<b>CAPÍTULO III: PRUEBAS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>89</b>
3.1 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE PRO.....	89
3.2 PRUEBAS DE ALMACENAMIENTO DE DATOS EN LA MEMORIA....	95
3.3 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DEL DATA LOGGER CON LA PC...	97
3.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL DATA LOGGER MAESTRO..	99
3.5 ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES Y PRUEBAS EXPERIMENTALES..	109
3.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LOS DATA LOGGER.....	110
<b>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES...</b>	<b>112</b>
4.1 CONCLUSIONES.....	112
4.2 RECOMENDACIONES.....	114
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>118</b>
ANEXO A) Manual del Usuario	
ANEXO B) Programación del PIC18F4550	
ANEXO C) Data Sheet Módulo Xbee PRO	
ANEXO D) Data Sheet Sensor DS18B29	

## **INTRODUCCIÓN**

El presente proyecto de grado, tiene como objetivo principal desarrollar un prototipo para el almacenamiento y adquisición de datos utilizando tecnología Zigbee que es un protocolo basado en el estándar IEEE 802.15.4.

Zigbee siendo una tecnología inalámbrica o sea no utiliza cables dentro de una red facilita el montaje en la misma, permitiendo un ahorro de tiempo y principalmente de dinero.

El presente proyecto de titulación contribuye al estudio del estándar Zigbee y a la búsqueda de nuevas aplicaciones para el mismo.

En el capítulo 1, Data Logger, Red Zigbee muestra el contenido teórico de la investigación, características, topologías de red, velocidades de transmisión, capas de red, etc., esta parte del capítulo ayuda a entender cómo funciona el estándar y para qué sirve, para luego pasar al diseño y construcción de los módulos Data Logger utilizando dicha red.

En el capítulo 2, Diseño e implementación, comprende una serie de acondicionamientos, especificaciones y figuras de conexiones de lo implementado en el sistema.

En el capítulo 3, Resultados y pruebas experimentales, constituye un análisis exhaustivo en las mediciones tomadas de cada uno de los Data Logger y el almacenamiento de cada una de las tramas en cada memoria.

En el capítulo 4, Conclusiones y Recomendaciones, comprende las experiencias y conocimientos adquiridos en la realización de este proyecto, además de recomendaciones válidas para los lectores.

# CAPÍTULO I

## DATA LOGGER

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Un Data Logger<sup>1</sup> es un dispositivo electrónico que registra mediciones ordenadas en el tiempo, provenientes de diferentes sensores. Cada medición es almacenada en una memoria, junto con su respectiva fecha y hora.

En general los Data Logger son pequeños, se polarizan con baterías y están conformados por un microcontrolador, una memoria para el almacenamiento de los datos y diferentes sensores. La mayoría utilizan la PC como interfaz para programar al dispositivo y leer la información recolectada.

#### 1.1.1 Características principales

Como punto de partida se plantearon una serie de características que debía cumplir el sistema, para ser competitivo frente a productos similares existentes en el mercado. Por lo tanto debe:

- Ser portátil, es decir, funcionar con baterías, tener un peso y tamaño que le permita ser transportado con facilidad.
- Tener un bajo consumo: hay que tener en cuenta que este tipo de sistemas pueden trabajar durante semanas, meses y hasta años, por lo tanto es muy importante el consumo y la capacidad de las baterías.
- Intervalos de muestreo programables y con la mayor flexibilidad posible, desde segundos hasta horas. Esto permite registrar variables con diferentes velocidades de variación.

---

<sup>1</sup> [www3.fi.mdp.edu.ar/electronica/articulos/DataLogger.doc](http://www3.fi.mdp.edu.ar/electronica/articulos/DataLogger.doc)

- Tener una buena capacidad de almacenamiento de datos. En este punto entran en juego las características anteriores, por lo que se requiere de una cierta cantidad de memoria, teniendo en cuenta que la duración de las baterías depende del consumo, y el tiempo de trabajo dependerá del intervalo entre muestras y la capacidad de memoria.
- Bajo costo de los componentes y disponibilidad. Es muy importante ya que para ciertas aplicaciones se podrían necesitar varios equipos, o bien, puedan ser utilizados en lugares donde corran el riesgo de ser destruidos.
- Una interfaz con el usuario a través de una PC, donde el usuario pueda programar o leer el dispositivo de una manera sencilla y rápida, utilizando aplicaciones que le sean familiares para analizar la información.

### 1.1.2 Tipo de Marcas de Data Logger

**Data Logger THI<sup>2</sup> = Temperatura/Humedad interno.**- Es un mini termo hidrógrafo electrónico con sensores internos.

**Data Logger TSE = Temperatura/Humedad externo.**- Dispone de dos canales, en los cuales se puede o conectar dos sensores de temperatura o 1- 2 T/H.

**Data Logger TCE = Termocuplas.**- Tiene dos canales para termocuplas (J, K, N, E, R, S, T).

**Data Logger TPR = Temperatura / Presión del aire.**- Se puede medir tanto presión del aire como temperatura

**Data Logger THC = Temperatura / Humedad compacta (sin display).**- Es un instrumento económico que registra temperatura y humedad sin display.

---

<sup>2</sup> [http://www.lufft.de/dateianzeige.php?Dateiname=/download/manual/OPUS10\\_V12\\_s.pdf](http://www.lufft.de/dateianzeige.php?Dateiname=/download/manual/OPUS10_V12_s.pdf)

**Data Logger TIC = Temperatura / compacta.**- Tiene un solo canal para temperatura sin display. Véase *Figura 1.1.*



*Figura 1.1.- Data Logger TIC*

**Registrador climatológico con puerto USB PCE-HT7<sup>3</sup>.**- Detecta la humedad y temperatura del aire y la memoriza internamente. Este registrador climatológico en formato reducido y una amplia memoria (hasta máx. 32.000 valores / 16.000 valores por parámetro) sirve sobre todo para el registro prolongado de datos. Véase *Figura 1.2.*



*Figura 1.2.- Registrador con puerto USB*

**Mini registrador de datos PCE - MSR145.**- Es un mini registrador de datos universal para la medición y memorización de diferentes magnitudes físicas. Véase *Figura 1.3.*



*Figura 1.3.- Registrador PCE – MSR145*

<sup>3</sup> <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/metros/data-logger.htm>

**Data Logger de datos para temperatura PCE - T 100.-** Determina la temperatura del aire y la registra internamente. Con su gran memoria de hasta 64000 valores sirve para realizar registros prolongados en el sector de la alimentación. Véase *Figura 1.4*.



*Figura 1.4.- Data Logger PCE – T100*

**Registrador inalámbrico de temperatura y humedad relativa EC-600 / 650.-** Se puede usar como instrumento individual para vigilar la temperatura. Con una amplia memoria (máx. 16000 valores), es sobre todo ideal para registros de larga duración en el sector alimentario. Véase *Figura 1.5*



*Figura 1.5.- Registrador EC600/650*

**Registrador de vibraciones serie TGP con sensor interno.-** Registrador de datos para vibraciones en formato reducido y carcasa metálica para ambientes agresivos. Véase *Figura 1.6*.



*Figura 1.6.- Registrador con sensor interno*

**Data Logger módulos E105U-L.-** Módulos inalámbrico I/O E105U-L para la transmisión inalámbrica de señales de procesos.

**Luxómetro con Logger de datos PCE-174.-** Con memoria para 16.000 valores de medición sirve para medir la luz en la industria, la agricultura y la investigación.

### **1.1.3 Ventajas y Desventajas de un Data Logger**

Los datos de los términos de registro y adquisición de datos a menudo se usan indistintamente. Sin embargo, en un contexto histórico son muy diferentes.

Un registrador de datos es un sistema de adquisición de datos, pero un sistema de adquisición de datos no es necesariamente un registrador de datos.

Los registradores<sup>4</sup> de datos generalmente tienen tasas más lentas de la muestra. Una tasa de muestreo máxima de 1 Hz puede considerarse a ser muy rápido para un registrador de datos, pero muy lento para un sistema típico de adquisición de datos.

Los registradores de datos de forma implícita a dispositivos autónomos, deben permanecer atado a una computadora para obtener datos. This stand-alone aspecto de registradores de datos implica la memoria en tarjeta que se utiliza para almacenar los datos adquiridos. A veces, esta memoria es muy grande para dar cabida a muchos días, o incluso meses, de la grabación desatendida. Esta memoria puede ser respaldada por batería de memoria estática de acceso aleatorio, memoria flash o EEPROM.

Teniendo en cuenta los tiempos de grabación extendida de registradores de datos, que normalmente disponen de un tiempo para garantizar que cada valor de los datos registrados se asocia con una fecha y hora de la adquisición. Como tal, los registradores de datos normalmente emplean en tiempo real,

---

<sup>4</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Data\\_logger](http://en.wikipedia.org/wiki/Data_logger)

relojes de tiempo cuyo valor pueden ser una consideración importante al elegir entre los registradores de datos.

Los registradores de datos van desde; simples de un solo canal de entrada a complejos de múltiples instrumentos de canal. Normalmente, el más simple el registrador con menor flexibilidad de programación. Algunos de los instrumentos más sofisticados para permitir cálculos en canales y alarmas basadas en condiciones predeterminadas que permite a numerosas personas monitorear un sistema de forma remota.

La naturaleza desatendida y remota de muchas aplicaciones de los registradores de datos implica la necesidad en algunas aplicaciones para operar con una fuente de alimentación de CC, como una batería. La energía solar puede usarse para complementar estas fuentes de energía, para garantizar que los productos que comercializan son extremadamente eficientes.

Los registradores de datos deben ser extremadamente confiables. Ya que pueden funcionar durante largos períodos de tiempo sin parar con poca o ninguna supervisión humana, y puede ser instalado en lugares difíciles o remotos

#### **1.1.4 Campos de Aplicación**

Los Data Logger pueden ser contruidos para controlar todo tipo de datos ambientales. La temperatura y la humedad son las más comunes.

Según se requiera pueden servir para otras aplicaciones. Por ejemplo han sido utilizados por muchos años en los servicios meteorológicos para medir la humedad, presión atmosférica, los niveles de precipitación, etc.

También un Data Logger debido a su tamaño, puede ser transportado, por ejemplo, para registrar la cadena de frío de una carga desde una planta hasta el centro de distribución.

## **1.2 RED ZIGBEE**

### **1.2.1. Introducción**

ZigBee es una alianza, sin ánimo de lucro, de más de 100 empresas, la mayoría de ellas fabricantes de semiconductores, con el objetivo de auspiciar el desarrollo e implantación de una tecnología inalámbrica de bajo costo.

Destacan empresas como Invensys, Mitsubishi, Honeywell, Philips y Motorola que trabajan para crear un sistema estándar de comunicaciones, vía radio y bidireccional, para usarlo dentro de dispositivos de domótica, automatización de edificios (inmótica), control industrial, periféricos de PC, juguetería, sensores médicos. Los miembros de esta alianza justifican el desarrollo de este estándar para cubrir el vacío que se produce por debajo del Bluetooth.

### **1.2.2. Características de la Red ZIGBEE**

Algunas de las características de ZigBee son:

- Ⓜ ZigBee opera en las bandas libres ISM (Industrial, Scientific & Medical) de 2.4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (Estados Unidos).
- Ⓜ Tiene una velocidad de transmisión de 250 Kbps y un rango de cobertura de 10 a 75 metros.
- Ⓜ A pesar de coexistir en la misma frecuencia con otro tipo de redes como WiFi o Bluetooth su desempeño no se ve afectado, esto debido a su baja tasa de transmisión y, a características propias del estándar IEEE 802.15.4.
- Ⓜ Capacidad de operar en redes de gran densidad, esta característica ayuda a aumentar la confiabilidad de la comunicación, ya que entre más nodos existan dentro de una red, entonces, mayor número de rutas alternas existirán para garantizar que un paquete llegue a su destino.
- Ⓜ Cada red ZigBee tiene un identificador de red único, lo que permita que coexistan varias redes en un mismo canal de comunicación sin ningún problema. Teóricamente pueden existir hasta 16 000 redes diferentes en

un mismo canal y cada red puede estar constituida por hasta 65 000 nodos, obviamente estos límites se ven truncados por algunas restricciones físicas (memoria disponible, ancho de banda, etc.).

- Ⓜ Es un protocolo de comunicación multi-salto, es decir, que se puede establecer comunicación entre dos nodos aún cuando estos se encuentren fuera del rango de transmisión, siempre y cuando existan otros nodos intermedios que los interconecten, de esta manera, se incrementa el área de cobertura de la red.
- Ⓜ Su topología de malla (MESH) permite a la red auto recuperarse de problemas en la comunicación aumentando su confiabilidad.

### 1.2.3. Arquitectura

ZigBee es una pila de protocolos, que de manera similar al modelo OSI está constituido por diferentes capas, las cuales son independientes una de la otra. En la figura 1.7 se muestran las diferentes capas que conforman la pila de protocolos para ZigBee.

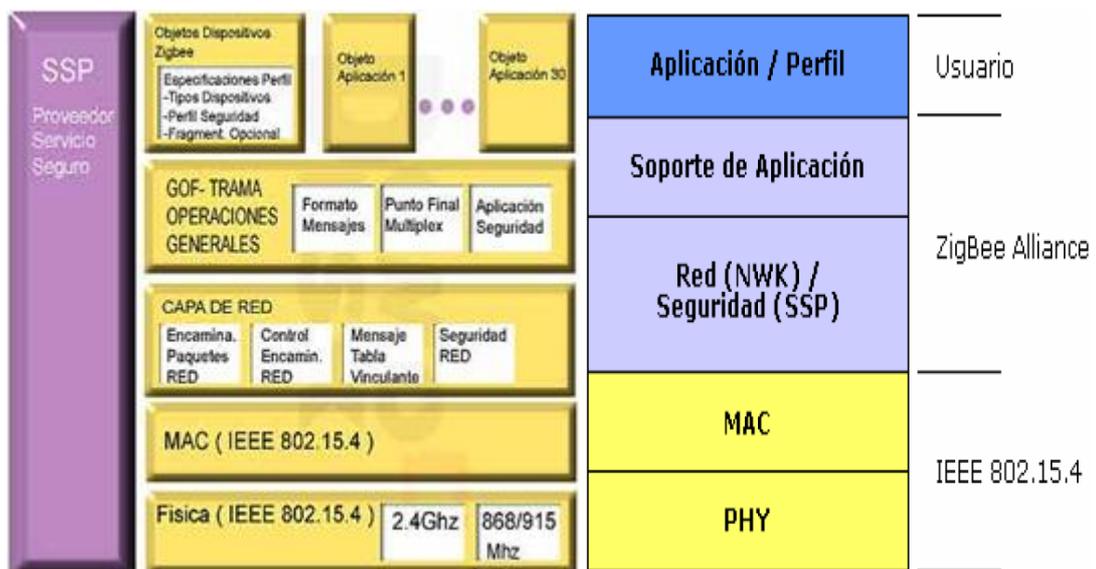


Figura 1.7.- Diferentes capas que conforman la pila de protocolos para ZigBee

- Ⓜ La capa de más bajo nivel es la capa física (PHY), que en conjunto con la capa de acceso al medio (MAC), brindan los servicios de transmisión de datos por el aire, punto a punto. Estas dos capas están descritas en

el estándar IEEE 802.15.4 El estándar trabaja sobre las bandas ISM de uso no regulado, dónde se definen hasta 16 canales en el rango de 2.4 GHz, cada una de ellas con un ancho de banda de 5 MHz. Se utilizan radios con un espectro de dispersión de secuencia directa, lográndose tasas de transmisión en el aire de hasta 250 Kbps en rangos que oscilan entre los 10 y 75 m, los cuales dependen bastante del entorno.

- ® La capa de red (NWK) tiene como objetivo principal permitir el correcto uso del subnivel MAC y ofrecer una interfaz adecuada para su uso por parte de la capa de aplicación. En esta capa se brindan los métodos necesarios para: iniciar la red, unirse a la red, enrutar paquetes dirigidos a otros nodos en la red, proporcionar los medios para garantizar la entrega del paquete al destinatario final, filtrar paquetes recibidos, cifrarlos y autentificarlos. Se debe tener en cuenta que el algoritmo de enrutamiento que se usa es el de enrutamiento de malla, el cual se basa en el protocolo *Ad Hoc On-Demand Vector Routing – AODV*<sup>5</sup>. Cuando esta capa se encuentra cumpliendo la función de unir o separar dispositivos a través del controlador de red, implementa seguridad, y encamina tramas a sus respectivos destinos; además, la capa de red del controlador de red es responsable de crear una nueva red y asignar direcciones a los dispositivos de la misma. Es en esta capa en donde se implementan las distintas topologías de red que ZigBee soporta (árbol, estrella y mesh network<sup>6</sup>).
- ® La siguiente capa es la de soporte a la aplicación que es la responsable de mantener el rol que el nodo juega en la red, filtrar paquetes a nivel de aplicación, mantener la relación de grupos y dispositivos con los que la aplicación interactúa y simplificar el envío de datos a los diferentes nodos de la red. La capa de Red y de soporte a la aplicación son definidas por la ZigBee Alliance.
- ® En el nivel conceptual más alto se encuentra la capa de aplicación que no es otra cosa que la aplicación misma y de la que se encargan los fabricantes. Es en esta capa donde se encuentran los ZDO (ZigBee

---

<sup>5</sup> Es un protocolo de enrutamiento reactivo para redes MANET, significa que AODV no hace nada hasta que un nodo necesita transmitir un paquete a otro nodo

<sup>6</sup> Es una [red en malla \(Mesh Network\)](#) implementada sobre una red inalámbrica [LAN](#).

Device Objects) que se encargan de definir el papel del dispositivo en la red, si el actúa.

Cada capa se comunica con sus capas subyacentes a través de una interfaz de datos y otra de control, las capas superiores solicitan servicios a las capas inferiores, y éstas reportan sus resultados a las superiores. Además de las capas mencionadas, a la arquitectura se integran otro par de módulos: *módulo de seguridad*, que es quien provee los servicios para cifrar y autenticar los paquetes, y el *módulo de administración del dispositivo ZigBee*, que es quien se encarga de administrar los recursos de red del dispositivo local, además de proporcionar a la aplicación funciones de administración remota de red.

#### **1.2.4 Empaquetamiento y direccionamiento**

En ZigBee, el empaquetamiento se realiza en cuatro tipos diferentes de paquetes básicos, los cuales son: datos, ACK, MAC y baliza. En la figura 1.8 se muestra los campos de los cuatro tipos de paquetes básicos.

El paquete de datos tiene una carga de datos de hasta 104 bytes. La trama esta numerada para asegurar que todos los paquetes llegan a su destino. Un campo nos asegura que el paquete se ha recibido sin errores. Esta estructura aumenta la fiabilidad en condiciones complicadas de transmisión.

La estructura de los paquetes ACK, llamada también paquete de reconocimiento, es dónde se realiza una realimentación desde el receptor al emisor, de esta manera se confirma que el paquete se ha recibido sin errores. Se puede incluir un tiempo de silencio entre tramas, para enviar un pequeño paquete después de la transmisión de cada paquete.

El paquete MAC, se utiliza para el control remoto y la configuración de dispositivos/nodos. Una red centralizada utiliza este tipo de paquetes para configurar la red a distancia.

El paquete baliza se encarga de “despertar” (consumo de energía) los dispositivos que “escuchan” y luego vuelven a “dormirse” (sleep) si no reciben nada más. Estos paquetes son importantes para mantener todos los dispositivos y los nodos sincronizados, sin tener que gastar una gran cantidad de batería estando todo el tiempo encendidos.

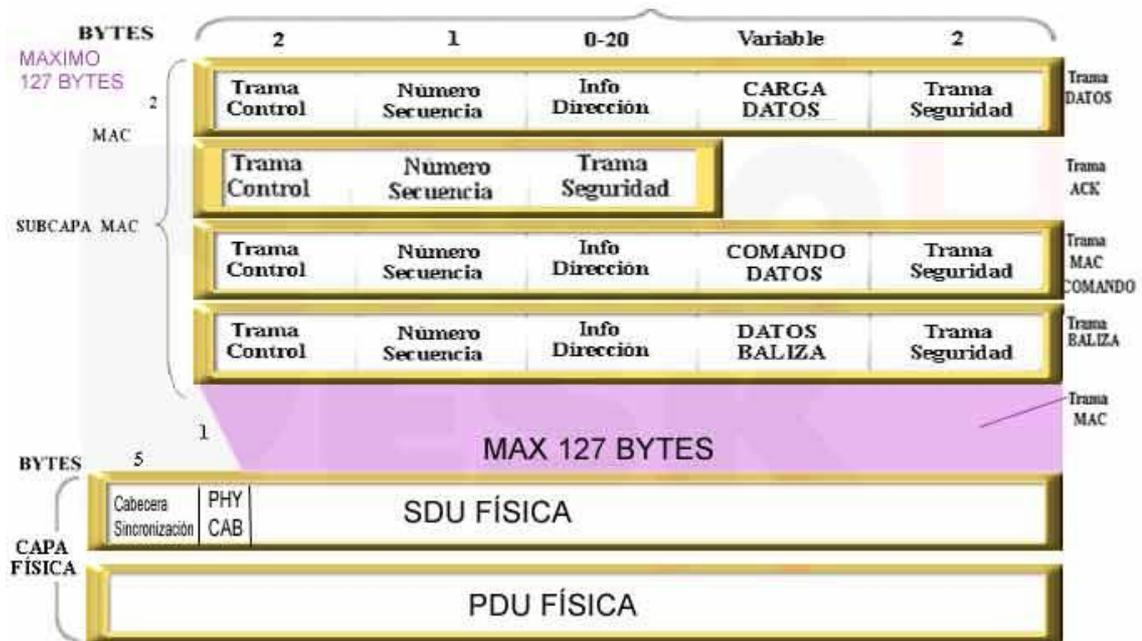


Figura 1.8.- Campos de los cuatro tipos de paquetes básicos de ZigBee.

Por otra parte, el direccionamiento es, a su vez, parte del nivel de aplicación. Un nodo está formado por un transceptor de radio compatible con el estándar 802.15.4 donde se implementan dos mecanismos de acceso al canal y una o más descripciones de dispositivo (colecciones de atributos que pueden consultarse o asignarse, o se pueden monitorizar por medio de eventos). El transceptor es la base del direccionamiento, mientras que los dispositivos dentro de un nodo se identifican por medio de un endpoint numerado entre 1 y 240.

Los dispositivos se direccionan empleando 64 bits y un direccionamiento corto opcional de 16 bits. El campo de dirección incluido en MAC puede contener información de direccionamiento de ambos orígenes y destinos (necesarios para operar punto a punto).

Este doble direccionamiento es usado para prevenir un fallo dentro de la red. Los dos mecanismos de acceso al canal que se implementan en ZigBee corresponden para redes "con balizas" y "sin balizas". Para una red "sin balizas", un estándar ALOHA CSMA-CA envía reconocimientos positivos para paquetes recibidos correctamente. En esta red, cada dispositivo es autónomo, pudiendo iniciar una conversación, en la cual los otros pueden interferir. A veces, puede ocurrir que el dispositivo destino puede no oír la petición, o que el canal esté ocupado.

Este sistema se usa típicamente en los sistemas de seguridad, en los cuales sus dispositivos (sensores, detectores de movimiento o de rotura de cristales), "duermen" (sleep) prácticamente todo el tiempo (el 99,999%). Para que se les tenga en cuenta, estos elementos se "despiertan"(consumo de energía) de forma regular para anunciar que siguen en la red. Cuando se produce un evento, el sensor "despierta" (consumo de energía) instantáneamente y transmite la alarma correspondiente. Es en ese momento cuando el coordinador de red, recibe el mensaje enviado por el sensor, y activa la alarma correspondiente. En este caso, el coordinador de red se alimenta de la red principal durante todo el tiempo.

En cambio, en una red "con balizas", se usa una estructura de súper trama para controlar el acceso al canal, esta súper trama es estudiada por el coordinador de red para transmitir "tramas baliza" cada ciertos intervalos (múltiples cada de 15.38 ms hasta cada 52 s). Esta estructura garantiza el ancho de banda dedicado y bajo consumo de corriente. Este modo es más recomendable cuando el coordinador de red trabaja con una batería. Los dispositivos que conforman la red, escuchan a dicho coordinador durante el "balizamiento" (envío de mensajes a todos los dispositivos broadcast, entre 0,015 y 252 segundos). Un dispositivo que quiera intervenir, lo primero que tendrá que hacer es registrarse para el coordinador, y es entonces cuando mira si hay mensajes para él. En el caso de que no haya mensajes, este dispositivo vuelve a "dormir", y se despierta de acuerdo a un horario que ha establecido previamente el coordinador. En cuanto el coordinador termina el "balizamiento", vuelve a "dormirse"(sleep).

### 1.2.5 Seguridad

Otro aspecto muy importante es la seguridad de las transmisiones y de los datos, los cuales son puntos clave en la tecnología ZigBee que utiliza el modelo de seguridad de la subcapa MAC IEEE 802.15.4, la cual especifica 4 servicios de seguridad: Véase Figura 1.9.

- Ⓜ Control de accesos, el dispositivo mantiene una lista de dispositivos “comprobados” en la red.
- Ⓜ Datos encriptados, las cuales utilizan una encriptación con un código de 128 bits.
- Ⓜ Integración de tramas, para proteger los datos de ser modificados por otros.
- Ⓜ Secuencias de refresco, para comprobar que las tramas no han sido reemplazadas por otras. El controlador de red comprueba estas tramas de refresco y su valor, para ver si son las esperadas.

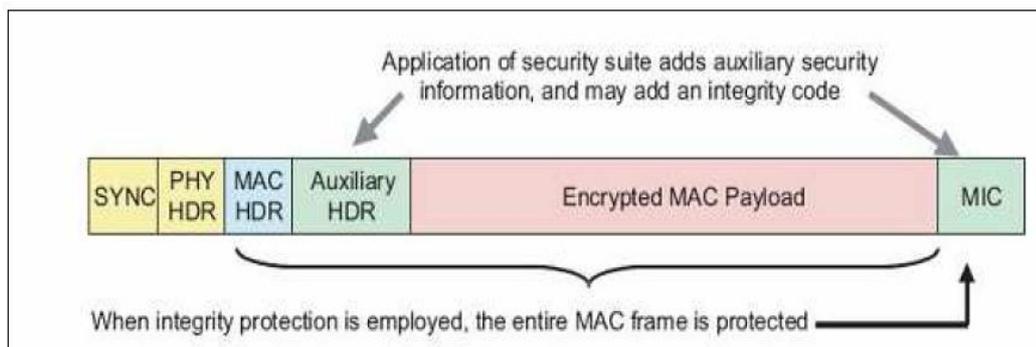


Figura 1.9.- Seguridad en MAC

### 1.2.6 Tipos de dispositivos

ZigBee tiene tres tipos de dispositivos:

- Ⓜ El **coordinador de red**, que mantiene en todo momento el control del sistema. Es el más sofisticado de los tipos de dispositivos, requiere memoria y capacidad de computación.

- ® El **dispositivo de función completa (FFD)** capaz de recibir mensajes del estándar 802.15.4. Este puede funcionar como un coordinador de red. La memoria adicional y la capacidad de computar, lo hacen ideal para hacer las funciones de router o para ser usado en dispositivos de red que actúen de interface con los usuarios.
- ® El **dispositivo de función reducida (RFD)** de capacidad y funcionalidad limitadas (especificada en el estándar) para el bajo costo y simplicidad. Son los sensores/actuadores de la red.

### 1.2.7 Modelo de red ZIGBEE

La capa de red (NWK) une o separa dispositivos a través del coordinador de red, implementa seguridad, y encamina tramas a sus respectivos destinos. Además, la capa de red del coordinador central o maestro es responsable de crear una nueva red y asignar direcciones a los dispositivos de la misma.

En ZigBee existen tres tipos de topologías: estrella, árbol, y en red malla (mesh network), las cuales pueden observarse en la figura 1.10. Siempre hay un nodo de red que asume el papel de coordinador central encargado de centralizar la adquisición y las rutas de comunicación entre dispositivos. Además, si se aplica el concepto de Mesh Network, pueden existir coordinadores o routers, alimentados permanentemente en espera de recibir/repetir las tramas de los dispositivos o sensores.

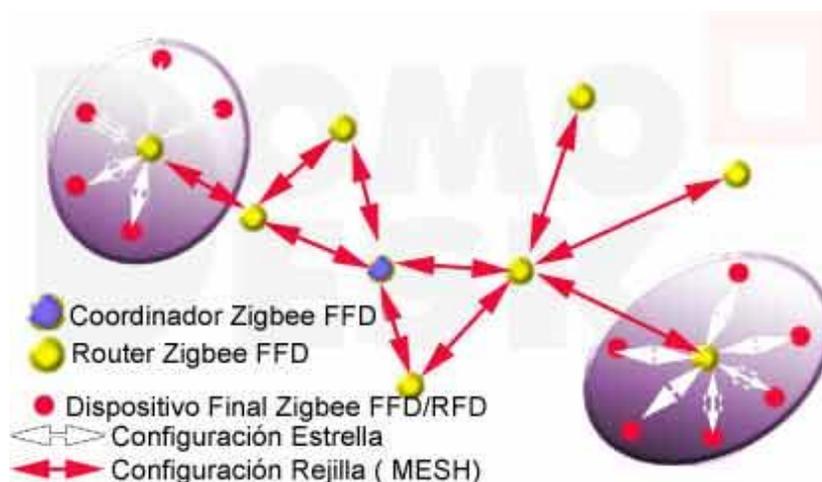


Figura 1.10.- Diferentes topologías de red disponibles en ZigBee.

Sin lugar a dudas, una de las mayores aportaciones del ZigBee y el que mayor interés está despertando a las empresas desarrolladoras de productos, es el concepto de red nodal o mesh network por el que cualquier dispositivo ZigBee puede conectarse con otro dispositivo usando a varios de sus compañeros como repetidores. A este se le conoce como enrutado “multi-salto”, primero hace llegar la información al nodo ZigBee vecino, el cual puede además ser coordinador de la red, para así llegar al nodo destino, pasando por todos los que sean necesarios. De esta manera cualquier nodo ZigBee puede hacer llegar los datos a cualquier parte de la red inalámbrica siempre y cuando todos los dispositivos tengan un vecino dentro de su rango de cobertura.

### **1.2.8. Comparativa de tecnologías Wireless**

Existen en el mercado varias tecnologías inalámbricas; a continuación se realiza una comparación con dos tecnologías de red muy populares hoy en día, Bluetooth y Wi-Fi<sup>7</sup>.

Hay muchas alternativas inalámbricas asequibles a los diseñadores; comparando Zigbee con algunos de los estándares más populares que comparten la banda de 2.4 GHz sin licencia. Los parámetros mostrados en la siguiente tabla 1.1 incluyen el estándar que debe seguirse a nivel de la capa dos (es decir el formato de la trama), la máxima velocidad de transmisión, el consumo de corriente típica en transmisión y en “standby”, los requisitos de memoria de programa para un dispositivo típico, aplicaciones y opciones de conexión de la red entre otras características.

---

<sup>7</sup> <http://www.find-pdf.com/buscar-datasheet+16f877a+.html>

Tabla 1.1.- Comparación de las tecnologías Wireless

Estándar	Ancho de Banda	Consumo de potencia	Ventajas	Aplicaciones
Wi-Fi	Hasta 54Mbps	400ma transmitiendo, 20ma en reposo	Gran ancho de banda	Navegar por Internet, redes de ordenadores, transferencia de ficheros
Bluetooth	1 Mbps	40ma transmitiendo, 0.2ma en reposo	Interoperatividad, sustituto del cable	Wireless USB, móviles, informática casera
ZigBee	250 kbps	30ma transmitiendo, 3ma en reposo	Batería de larga duración, bajo coste	Control remoto, productos dependientes de la batería, sensores , juguetería

Bluetooth es un popular sistema de comunicación inalámbrico basado en el estándar IEEE 802.15.1, Bluetooth trabaja a una velocidad de transmisión de datos de 1 Mbps. Se puede ver que Bluetooth y ZigBee tienen similares corrientes en transmisión, pero Zigbee tiene un recurso significativamente mejor, más baja corriente en "standby". Esto es debido a que los dispositivos en redes Bluetooth deben dar información a la red frecuentemente para mantener la sincronización, así que no pueden estar fácilmente en modo "sleep" (modo de bajo consumo).

WiFi o WLAN es una red que requiere la actividad casi ininterrumpida de los dispositivos en la red. La ventaja de este estándar es la cantidad grande de datos que se pueden transferir de un punto a multi-puntos, pero se puede ver que la corriente en transmisión es alta.

Se observa que de los tres estándares de radiofrecuencia, solamente ZigBee brinda la flexibilidad de la conexión de redes en malla; además de reducidos requisitos de memoria de programa. Las aplicaciones Zigbee son típicamente muy simples. La potencia está en la conexión de redes y el hecho de que los dispositivos "endpoint" de ZigBee pueden "dormir" mientras que se mantienen asociados a la red.

Uno de los puntos clave de la tabla 1.1 es mostrar que los estándares inalámbricos están basados en lo que se llaman "modelos de uso" "aplicaciones". Ningún estándar cubre todos los requerimientos de todos los "modelos de uso". Los diseñadores deben escoger el estándar que cubre mejor sus requisitos de aplicación.

Examinando la comparativa de los dos estándares más cercanos Zigbee y Bluetooth, ambos están en la categoría PAH, ambos tienen radios similares, pero no lo son en cuanto al consumo de energía. La diferencia entre los dos estándares está en su campo de aplicación.

Bluetooth apunta a las aplicaciones de una transferencia media de datos y servicio ininterrumpido, como transferencia de ficheros y transmisión de sonido en telecomunicaciones.

ZigBee, apunta a las aplicaciones de baja transferencia de datos y ciclos de servicio bajos. Dispositivos "endpoint" no transmiten o reciben tan frecuentemente en este tipo de aplicaciones, y permiten una duración de la pila excepcional.

### **1.2.9. Aplicaciones**

El mercado para las redes ZigBee comprende una amplia variedad de aplicaciones. En la actualidad un gran número de las compañías que forman parte de la ZigBee Alliance se encuentran desarrollando productos que van desde electrodomésticos hasta teléfonos celulares, impulsando el área que más les interesa. En la figura 1.11 se presentan los grupos más dominantes de aplicaciones que están en la mira de ZigBee.

Hay que tener en cuenta que ZigBee está diseñado para aplicaciones que transmiten unos cuantos bytes esporádicamente, que es el caso de una aplicación para automatizar el hogar (domótica). Al usar esta tecnología no habría la necesidad de cablear los interruptores, los cuales podrían ser cambiados de un lugar a otro con plena libertad, pudiendo por ejemplo, prender

o apagar las luces de la casa a través de Internet o utilizando el teléfono celular en cualquier momento.

Una de las áreas de aplicación que ha tomado fuerza, es la de los sistemas de medición avanzada, medidores de agua, luz y gas que forman parte de una red con otros dispositivos como displays ubicados dentro de las casas, que pueden monitorear el consumo de energía y no sólo eso, sino que también pueden interactuar con electrodomésticos o cualquier otro sistema eléctrico como bombas de agua o calefacción, con la finalidad de aprovechar mejor la energía. Zigbee goza de un importante respaldo para la gestión energética y para las soluciones de consumo eficiente por parte de la industria de los servicios públicos; y por parte de los patrocinadores de las redes energéticas inteligentes en varios países.

Otra área de aplicación prometedora es el rastreo de bienes, también está en la lista la identificación vehicular, nodos ubicados en vehículos que permiten identificar al vehículo a distancia y descargar información que ha recopilado por un periodo de tiempo determinado, monitorización médica de pacientes y cuidado personal, control de máquinas, herramientas y redes de sensores para el control industrial de plantas de proceso. Este tipo de escenarios se encuentran al alcance de la tecnología actual. Las anteriores son sólo algunas de las múltiples aplicaciones que se le pueden dar a las redes en cuestión.

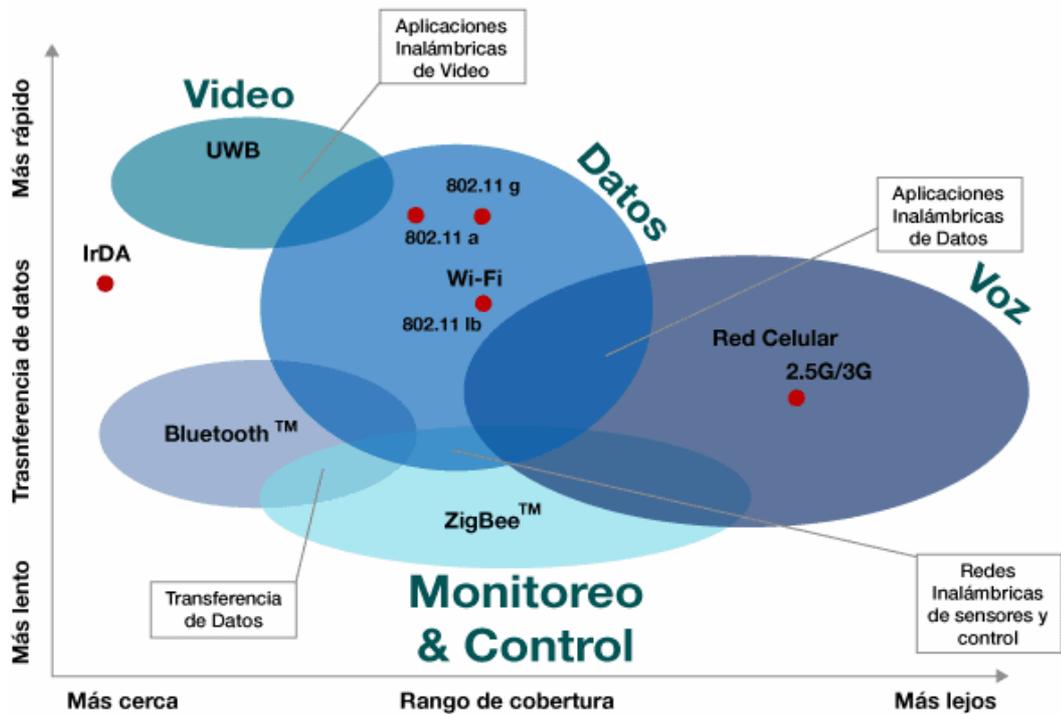


Figura 1.11.- Grupos de aplicaciones que están en la mira de ZigBee.

### 1.2.9.1 Aplicaciones de Alto Nivel

En la figura 1.12 se observan algunas de las aplicaciones que tiene ZigBee que son bastante interesantes.



Figura 1.12.- Diversos grupos de aplicaciones para ZigBee

La ZigBee(R) Alliance y la Wi-Fi Alliance(R) han anunciado un acuerdo para colaborar en las redes de área de hogar inalámbricas (HAN) para aplicaciones Smart Grid.<sup>8</sup> El objetivo inicial de la colaboración será ZigBee Smart Energy 2.0, un protocolo de gestión de energía de próxima generación para los hogares compatibles con Smart Grid basados en el actual y exitoso ZigBee Smart Energy Profile. ZigBee Smart Energy 2.0 se espera que funcione con tecnología Wi-Fi como resultado de la colaboración.

Las dos organizaciones identificarán las oportunidades para el uso de ZigBee Smart Energy 2.0, capitalizando la fortaleza única de sus tecnologías respectivas. Esto ampliará la utilización de HAN dentro de la gestión del consumo energético o instrumentos de producción, una parte vital de los esfuerzos ya en marcha dentro de la Smart Grid. ZigBee Smart Energy 2.0 fue seleccionada el año anterior por el U.S. Department of Energy y por el National Institute of Standards and Technology (NIST) como estándar inicial interoperable para instrumentos HAN.

Al unir la tecnología de comunicaciones Wi-Fi con ZigBee Smart Energy 2.0 se consigue que los servicios públicos, vendedores y consumidores energéticos dispongan de una mayor elección y versatilidad en las soluciones de gestión de energía. El acuerdo entre las dos organizaciones ayudará a desplegar una integración más cercana de las dos tecnologías de comunicaciones dentro de un entorno de hogar inteligente. Este entorno incluirá instrumentos que abarcan desde los medidores de servicios públicos, termostatos y aplicaciones para los instrumentos de entretenimiento del hogar, sistemas informáticos y de automoción.

ZigBee Smart Energy se desarrolló inicialmente para funcionar en una red inalámbrica estándar ZigBee con el fin de prestar apoyo a las necesidades de medición inteligente e infraestructura de medición avanzada (AMI). ZigBee Smart Energy 2.0 se ha diseñado para prestar apoyo a otras tecnologías de redes dentro del hogar digital, incluyendo HomePlug<sup>9</sup> y ahora Wi-Fi. El

---

<sup>8</sup> Red Inteligente

<sup>9</sup> La tecnología HomePlug es un estándar de red, utiliza la red eléctrica interna ya existente

estándar de baja potencia ZigBee se ha optimizado para las necesidades de las redes de sensores inalámbricos, ofreciendo una auto-organización robusta, red de integración de auto-curación, escalabilidad para redes muy grandes, de costo y complejidad muy bajos y una vida de batería superlativa.

## **1.3 TRANSCEIVERS**

### **1.3.1 Introducción**

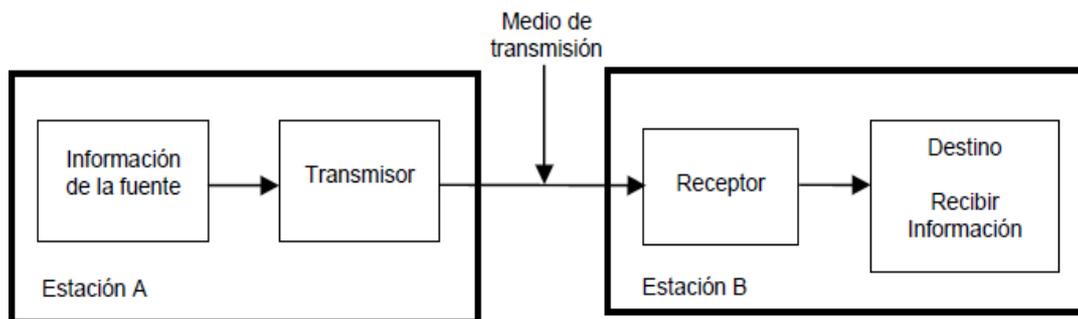
Desde sus inicios el hombre ha tenido la necesidad de comunicarse. Con el paso del tiempo dicha necesidad se fue incrementando de manera considerable, a tal grado que la comunicación a distancia pasó a formar parte de las necesidades fundamentales de los pueblos; sin embargo, junto a la comunicación a distancia surge la necesidad de mejorar los métodos de comunicación empleados, para lo cual el tiempo de entrega de la información y la pérdida de ésta debían reducirse en la mayor proporción posible.

### **1.3.2 Generalidades**

Actualmente existen un gran número de formas de comunicación (oral, escrita, señas, imágenes, etc.), sin embargo con la comunicación electrónica, se logra que las señales eléctricas se puedan transmitir a distancias mucho mayores, a velocidades sumamente altas y con menores pérdidas.

Por comunicaciones electrónicas puede entenderse el proceso de transmisión, recepción y procesamiento de información con ayuda de circuitos electrónicos. Dicha comunicación puede ser de tres tipos: simplex (en una sola dirección), half-dúplex (en ambas direcciones pero no al mismo tiempo) o dúplex (en ambas direcciones simultáneamente). Dado que para el desarrollo del proyecto no es necesario establecer comunicación en ambas direcciones, en la figura 1.13, puede observarse la estructura básica del sistema implementado, el cual

consiste de tres secciones principales: un transmisor, un medio de transmisión y un receptor.



*Figura 1.13.- Diagrama a bloques simplificado de un sistema de comunicaciones en una sola dirección.*

El transmisor es el encargado de modificar la información original de tal manera que pueda ser adecuada para su transmisión. El medio de transmisión es aquel por el que viaja la información del transmisor al receptor, por lo que bien puede considerarse como una conexión entre ambos elementos. Finalmente, el receptor cumple con la tarea de convertir a su forma original la información recibida para posteriormente transferirla a su destino y donde será procesada.

Dependiendo del tipo de información a transmitir, los sistemas de comunicaciones electrónicas pueden ser clasificados en dos grupos: analógicos y digitales. En un sistema de comunicaciones analógico, como el empleado en este proyecto, la energía electromagnética se transmite y recibe como una señal que se encuentra variando continuamente. Por otro lado, cuando la energía electromagnética se transmite y recibe como niveles discretos se dice que se trata de un sistema digital.

Como se dijo anteriormente, para que la transmisión pueda llevarse a cabo resulta necesario convertir la señal de información a una forma adecuada. Este es precisamente el objetivo fundamental de la modulación: convertir a energía electromagnética la información de la fuente para que ésta pueda propagarse a través de los sistemas de comunicación, sin importar que sean analógicos o

digitales. Dicha transformación de la información se lleva a cabo en el transmisor en un circuito conocido como modulador.

Por lo tanto, la modulación puede ser definida como: el proceso de modificar la información de una fuente a una forma apropiada para su transmisión. Generalmente involucra traducir una señal en banda base a una señal pasa banda a frecuencias muy altas comparadas con la frecuencia en banda base.

La señal pasa banda se llama señal modulada y la señal de información en banda base se denomina señal moduladora. La modulación se puede hacer variando la amplitud, fase o frecuencia de una portadora de alta frecuencia de acuerdo con la amplitud de la señal de información. La demodulación es el proceso de extraer el mensaje en banda base de una portadora de manera que pueda ser procesada e interpretada por el receptor

### **1.3.3 Aplicaciones**

Los Transceivers son utilizados para conectar nodos a varios medios Ethernet. La mayoría de las computadoras y placas de interfaz de red poseen un transceiver 10BASE-T o 10BASE2 incorporado ("built-in"), permitiéndoles conectarse directamente al medio Ethernet sin la necesidad de un transceiver externo. Muchos dispositivos Ethernet compatibles proveen un conector AUI, el cual permite al usuario conectarse a cualquier tipo de medio vía un transceiver externo.

El transceptor (transceiver) de radiofrecuencia tiene como tarea principal la transmisión y recepción de datos que son suministrados por el microcontrolador, los módulos XBee-PRO; que son módulos de radio frecuencia que trabajan en la banda de 2.4 GHz con protocolo de comunicación 802.15.4. Son utilizados en automatización de casas, sistemas de seguridad, monitoreo de sistemas remotos, aparatos domésticos, alarmas contra incendio, plantas tratadoras de agua, etc. Los módulos XBee-PRO tienen un alcance en interiores de hasta 100 metros, y en exteriores el alcance es de hasta 1500 metros. En la Figura 1.14 se muestran los tres diferentes tipos de XBee-PRO.

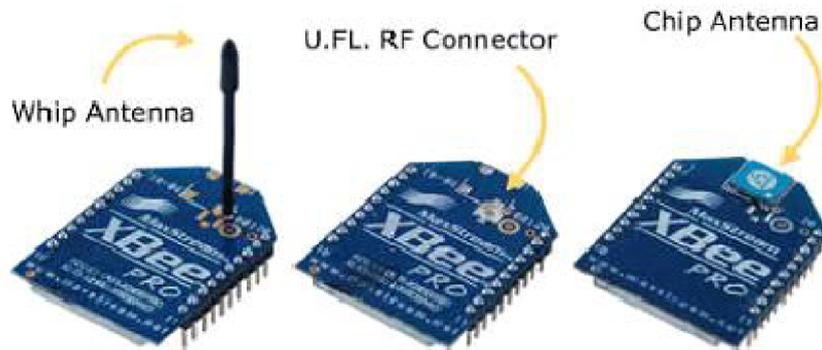


Figura 1.14.- Tipos de XBee-Pro.

## 1.4. MICROCONTROLADORES PIC's<sup>10</sup>

Los PIC's de Microchip son los número 1 en ventas de microcontroladores

### Ventajas de los microcontroladores PIC de Microchip

- ® Amplia gama: gran variedad de familias que permiten adaptar el uC a las necesidades de cada aplicación
- ® Herramientas de desarrollo comunes
- ® Gran variedad de unidades funcionales embebidas (temporizadores, USART, I2C, SPI, unidades de comparación/captura/PWM, Convertidores A/D, USB, receptores/transmisores de RF, Ethernet, etc.)
- ® Precios competitivos
- ® Buen soporte (datasheet, libros, notas de aplicación, seminarios, mucha información disponible en internet)

### 1.4.1. Conceptos Básicos

#### Familias de microcontroladores PIC

- ® PIC10: microcontroladores de 8 bits, de bajo costo de 6 pines y bajas prestaciones
- ® PIC12: microcontroladores de 8 bits, de bajo coste, de 8 pines y bajas prestaciones.

<sup>10</sup> <http://grupos.emagister.com/ficheros/vcruzada?idGrupo=1007&idFichero=20740>

- ® PIC16: microcontroladores de 8 bits, con gran variedad de número de pines y prestaciones medias.
- ® PIC18: microcontroladores de 8 bits, con gran variedad de número de pines y prestaciones medias/altas.
- ® PIC24: microcontroladores

#### **1.4.2. Características generales**

##### **FAMILIA PIC18F**

##### **Características fundamentales:**

- ® Arquitectura RISC avanzada Harvard: 16 - bit con 8 - bit de datos.
- ® 77 instrucciones
- ® Desde 18 a 80 pines
- ® Hasta 64K bytes de programa (hasta 2 Mbytes en ROMless)
- ® Multiplicador Hardware 8x8
- ® Hasta 3968 bytes de RAM y 1KBytes de EEPROM
- ® Frecuencia máxima de reloj 40Mhz. Hasta 10 MIPS.
- ® Pila de 32 niveles.
- ® Múltiples fuentes de interrupción
- ® Periféricos de comunicación avanzados (CAN y USB) Tabla 1.2.

Tabla 1.2.- Características Familia PIC 18F

**MICROCONTROLADORES PIC18F2455, PIC18F2550, PIC18F4455 y PIC18F4550**

CARACTERISTICAS	PIC18F2455	PIC18F2550	PIC18F4455	PIC18F4550
Frecuencia de Operación	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz
Memoria de Programa (bytes)	24.576	32.768	24.576	32.768
Memoria RAM de Datos (bytes)	2.048	2.048	2.048	2.048
Memoria EEPROM Datos (bytes)	256	256	256	256
Interrupciones	19	19	20	20
Líneas de E/S	24	24	35	35
Temporizadores	4	4	4	4
Módulos de Comparación/Captura/PWM (CCP)	2	2	1	1
Módulos de Comparación/Captura/PWM mejorado (ECCP)	0	0	1	1
Canales de Comunicación Serie	MSSP,EUSART	MSSP,EUSART	MSSP,EUSART	MSSP,EUSART
Canal USB	1	1	1	1
Puerto Paralelo de Transmisión de Datos (SPP)	0	0	1	1
Canales de Conversión A/D de 10 bits	10 Canales	10 Canales	13 Canales	13 Canales
Comparadores analógicos	2	2	2	2
Juego de instrucciones	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)
Encapsulados	PDIP 28 pines SOIC 28 pines	PDIP 28 pines SOIC 28 pines	PDIP 40 pines QFN 40 pines TQFP 40 pines	PDIP 40 pines QFN 40 pines TQFP 40 pines

**1.4.3 Microcontrolador PIC18F4550**

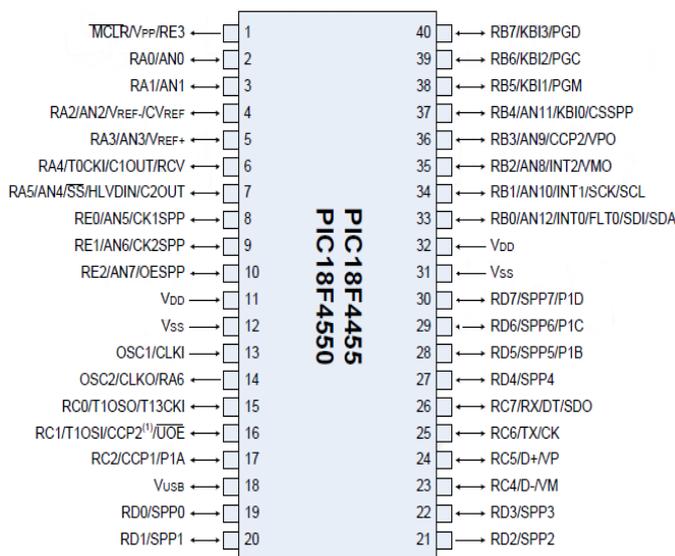


Figura 1.15.- Pines del microcontrolador 18F4550

## DIAGRAMA DE BLOQUES

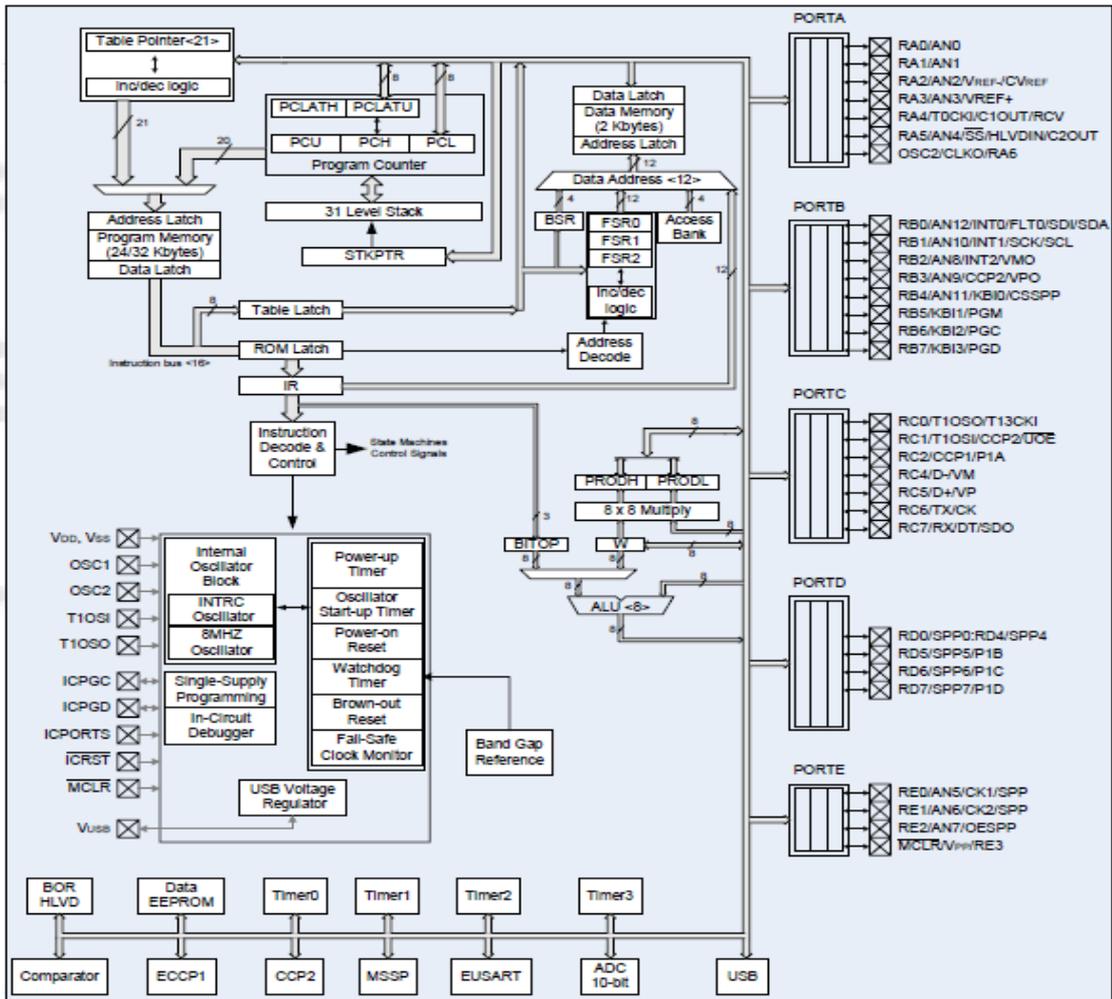


Figura 1.16.- Diagrama de bloques

### 1.4.3.1 Organización de memoria

El uC PIC18F4550<sup>11</sup> dispone de las siguientes memorias:

- Memoria de programa: memoria flash interna de 32.768 bytes
  - Ⓜ Almacena instrucciones y constantes/datos
  - Ⓜ Puede ser escrita/leída mediante un programador externo o durante la ejecución programa mediante unos punteros.
- Memoria RAM de datos: memoria SRAM interna de 2048 bytes en la que están incluidos los registros de función especial.

<sup>11</sup> <http://www.diselc.es/diselc/utilidades.htm>

- Ⓜ Almacena datos de forma temporal durante la ejecución del programa
  - Ⓜ Puede ser escrita/leída en tiempo de ejecución mediante diversas instrucciones
- Memoria EEPROM de datos: memoria no volátil de 256 bytes.
  - Ⓜ Almacena datos que se deben conservar aun en ausencia de tensión de alimentación
  - Ⓜ Puede ser escrita/leída en tiempo de ejecución a través de registros
- Pila: bloque de 31 palabras de 21 bits
  - Ⓜ Almacena la dirección de la instrucción que debe ser ejecutada después de una interrupción o subrutina
- Memoria de configuración: memoria en la que se incluyen los bits de configuración (12 bytes de memoria flash) y los registros de identificación (2 bytes de memoria de solo lectura).

#### **1.4.3.2 Memoria de configuración**

Se trata de un bloque de memoria situado a partir de la posición 30000H de memoria de programa (más allá de la zona de memoria de programa de usuario).

En esta memoria de configuración se incluyen:

- Bits de configuración: contenidos en 12 bytes de memoria flash permiten la configuración de algunas opciones del uC como:
  - Ⓜ Opciones del oscilador
  - Ⓜ Opciones de reset
  - Ⓜ Opciones del watchdog
  - Ⓜ Opciones de depuración y programación
  - Ⓜ Opciones de protección contra escritura de memoria de programa y memoria EEPROM de datos

Estos bits se configuran generalmente durante la programación del uC, aunque también pueden ser leídos y modificados durante la ejecución del programa.

- Registros de identificación: se trata de dos registros situados en las direcciones 3FFFEH y 3FFFFH que contienen información del modelo y revisión del dispositivo. Son registros de solo lectura y no pueden ser modificados por el usuario.

### 1.4.3.3 Arquitectura HARDVARD

- El uC PIC18F4550 dispone buses diferentes para el acceso a memoria de programa y memoria de datos (arquitectura Harvard):
- Bus de la memoria de programa:
  - Ⓜ 21 líneas de dirección
  - Ⓜ 16/8 líneas de datos (16 líneas para instrucciones/8 líneas para datos)
- Bus de la memoria de datos:
  - Ⓜ 12 líneas de dirección
  - Ⓜ 8 líneas de datos
- Esto permite acceder simultáneamente a la memoria de programa y a la memoria de datos. Es decir se puede ejecutar una instrucción (lo que por lo general requiere acceso a memoria de datos) mientras se lee de la memoria de programa la siguiente instrucción (proceso pipeline), figura 1.17.

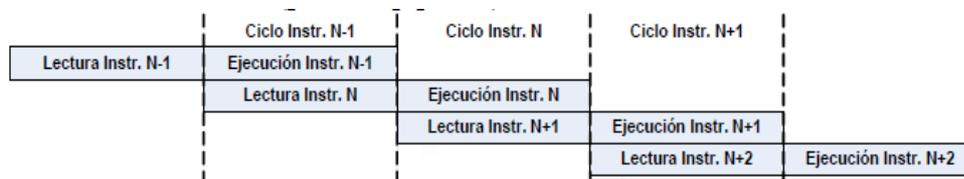


Figura 1.17.- Ejecución de instrucciones

- Por tanto la ejecución completa de 1 instrucción (lectura instrucción + ejecución) se hace en un 1 ciclo de instrucción (4 TOSC).

EXCEPCION: las instrucciones que modifican el contenido del PC requieren 2 ciclos de instrucción.

#### 1.4.3.4 Memoria de programa

- El uC PIC18F4550 dispone una memoria de programa de 32.768 bytes de memoria de programa (0000H-7FFFH). Las instrucciones ocupan 2 bytes (excepto CALL, MOVFF, GOTO y LSFR que ocupan 4). Por lo tanto la memoria de programa pueden almacenar hasta 16.384 instrucciones. Véase en la figura 1.18.
- La operación de lectura en posición de memoria por encima de 7FFFH da '0' como resultado (equivalente a la instrucción NOP).
- Direcciones especiales de la memoria de programa
  - ® Vectorización del Reset es 0000H
  - ® Vectorización de las interrupciones de alta prioridad es la 0008H.
  - ® Vectorización de las interrupciones de baja prioridad es la 0018H.

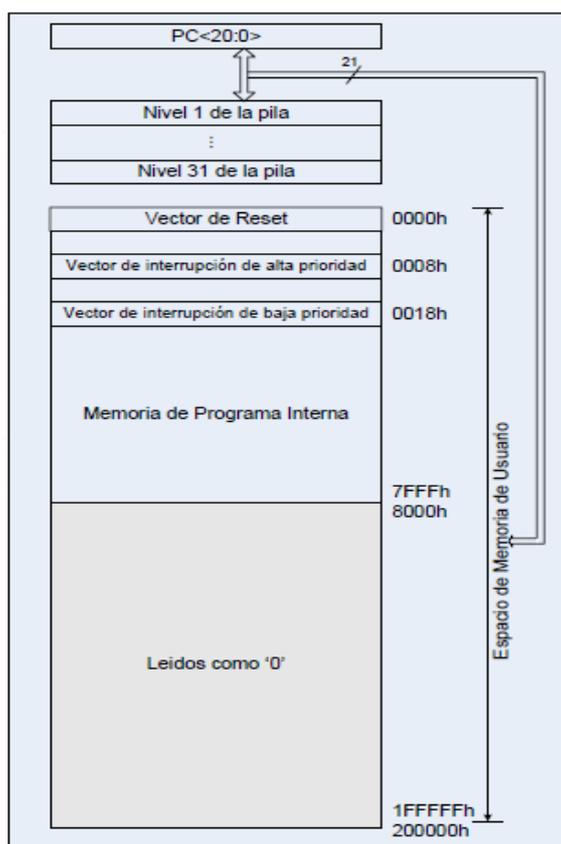


Figura 1.18.- Memoria de programa interna

### 1.4.3.5 Almacenamiento de instrucciones en memoria de programa

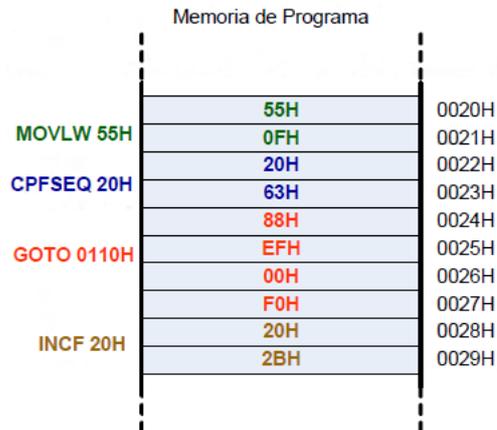


Figura 1.19.- Almacenamiento de instrucciones

Primero se almacena la parte baja de la instrucción y luego la parte alta (para las instrucciones de 4 bytes primero los bytes menos significativos y luego los más significativos).

Las instrucciones siempre empiezan en direcciones pares.

### 1.4.3.6 Contador de programa (PC)

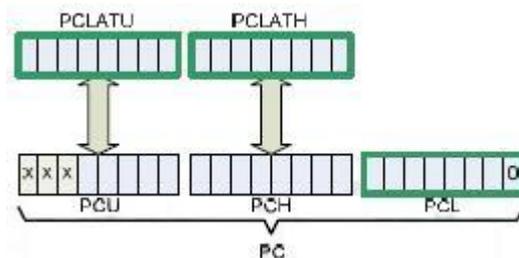


Figura 1.20.- Contador de programa

Puntero de 21 bits que indica la dirección en memoria de programa de la instrucción que se debe ejecutar. Está compuesto por 3 bytes:

- PCU: parte superior del PC, registro no directamente accesible; las operaciones de lectura/escritura sobre este registro se hacen a través del registro PCLATU

- PCH: parte alta del PC, registro no directamente accesible; las operaciones de lectura/escritura sobre este registro se hacen a través del registro PCLATH
- PCL: parte baja del PC, registro directamente accesible. Una operación de lectura sobre PCL provoca que los valores de PCU y PCH pasen a PCLATU y PCLATH respectivamente. Y una operación de escritura sobre PCL provoca que los valores de PCLATU y PCLATH pasen a PCU y PCH respectivamente. El PCL siempre tiene el bit menos significativo a '0', debido a que las instrucciones siempre empiezan en direcciones pares.

#### 1.4.3.7 La pila de dirección

- La Pila es un bloque de memoria RAM independiente de 31 palabras de 21 bits que sirve para almacenar temporalmente el valor del PC cuando se produce una llamada a subrutina o una interrupción.
- El puntero de pila (contenido en el registro STKPTR) es un contador de 5 bits que indica la posición actual del final de pila. El contenido del final de pila es accesible mediante los registros TOSU, TOSH, TOSL.
- Cuando se procesa una interrupción o se ejecutan las instrucciones las instrucciones CALL o RCALL (el PC está apuntando a la siguiente instrucción) se incrementa el STKPTR y se almacena en el final de pila el valor del PC. Véase figura 1.21.
- Cuando se ejecutan las instrucciones RETURN, RETLW o RETFIE se copia el valor almacenado en la cima de pila en el PC y se decrementa el STKPTR.

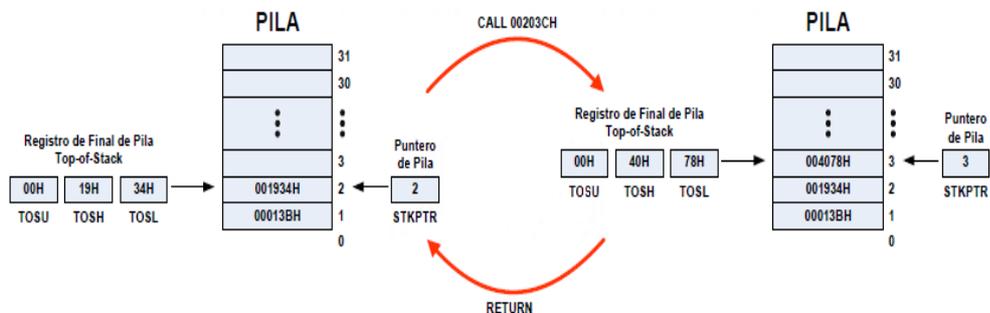


Figura 1.21.- Pila de direcciones

- Llenado de la Pila: si la pila llega al máximo de su capacidad (31 elementos apilados):
  - Ⓜ Si el bit de configuración STRVEN está a '0': el bit STKFUL del registro STKPTR se pone a '1' y si se producen nuevos apilamientos no afectarán a la pila.
  - Ⓜ Si el bit de configuración STRVEN está a '1': el bit STKFUL del registro STKPTR se pone a '1' y se producirá un reset del uC.
- Vaciado de la Pila: si la pila está vacía y se intenta desapilar de nuevo:
  - Ⓜ Si el bit de configuración STRVEN está a '0': el bit STKUNF del registro STKPTR se pone a '1', el PC se pondrá a 0000H y Puntero de pila permanecerá a 0.
  - Ⓜ Si el bit de configuración STRVEN está a '1': el bit STKUNF del registro STKPTR se pone a '1' y se producirá un reset del uC.

#### **1.4.3.8 Pila rápida de registro**

Se trata de una pila de un solo nivel en la que se apilan los valores del registro de estado, del W y del registro BSR cada vez que se produce una interrupción. Estos valores pueden ser recuperados si al salir de la interrupción se utiliza la instrucción "RETFIE, FAST". Si están habilitadas las interrupciones de baja y alta prioridad, esta pila no debe ser utilizada en interrupciones de baja prioridad.

Si no hay interrupciones habilitadas esta pila puede ser utilizada en llamadas a subrutinas ("CALL <eti>, FAST" y "RETURN, FAST").

#### **1.4.3.9 Memoria RAM de datos**

- El uC PIC18F4550 dispone una memoria RAM de datos 2.048 bytes (8 bancos de 256 bytes). Además dispone de 160 bytes dedicados a los registros de función especial (SFR's) situados en la parte alta del banco 15.
- Para acceder a un byte de la memoria RAM de datos primero debe seleccionarse el banco al que pertenece el byte mediante el registro de

selección de banco (BSR) y a continuación direccionar el byte dentro del banco. Además existe una modalidad de acceso rápido a las 96 posiciones de la parte baja del banco 0 y a los 160 bytes de SFR's (banco de acceso rápido). Véase figura 1.22.

- Los bancos 4, 5, 6 y 7 se utilizan también para el USB.

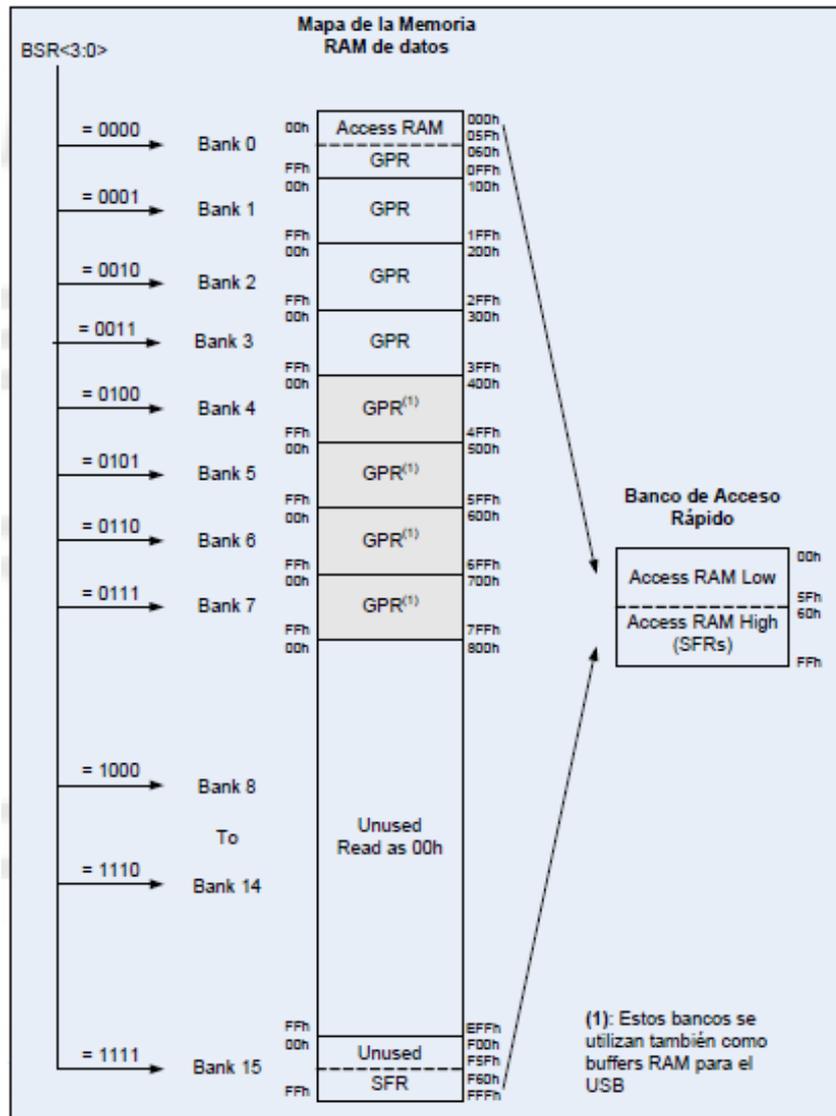


Figura 1.22.- Mapa de memoria RAM

#### 1.4.3.10 Modos de direccionamiento

El modo de direccionamiento es la forma en la que se obtienen el o los datos que van a ser utilizados en la instrucción. Existen 4 modos de direccionamiento: inherente, literal, directo e indirecto.

- Ⓜ Modo de direccionamiento inherente: en este modo o bien la instrucción no tiene operando o bien el operando viene especificado en el propio código de operación de la instrucción.

RESET; Realiza un reset por software (los operandos son todos los registros afectados por el reset)

DAW Ajuste decimal del acumulador (el operando es el acumulador).  
Formato BCD

NOP; No realiza ninguna operación (no hay operando)

- Ⓜ Modo de direccionamiento literal: en este modo el valor del operando viene indicado de forma explícita en la instrucción.

GOTO 0x100; Salto incondicional a la dirección 100H (el operando es 0x100)

MOVLW .23; Cargar en el acumulador el valor 23 (el operando es el .23)

- Ⓜ Modo de direccionamiento directo: en este modo la dirección en la que se encuentra el valor del operando viene indicada de forma explícita en la instrucción. Véase la figura 1.23.

El operando puede ser un byte o un bit:

- Operando de tipo byte:

- ❖ Mediante la instrucción MOVFF

MOVFF 0x01, 0x120;

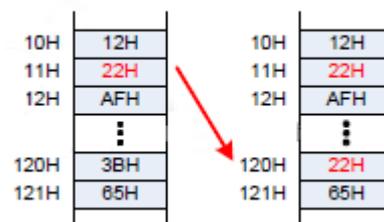


Figura 1.23.- Modo de direccionamiento directo

- Mediante la combinación del BSR y el valor de 8 bits indicado en la instrucción. Véase Figura 1.24.

MOVLW 0xB4

MOVLB .1

MOVWF 0x21,1

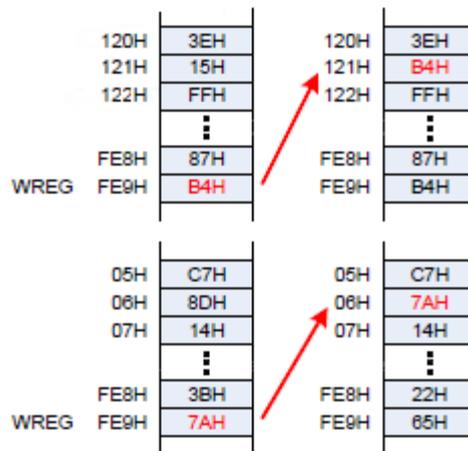


Figura 1.24.- Modo de direccionamiento mediante BSR

- Mediante el banco de acceso rápido
  - MOVLW 0x74
  - MOVWF 0x06,0; También es válido MOVWF 0x60,A
- Ⓜ Modo de direccionamiento indirecto: en este modo la dirección de memoria en la que se encuentra el dato viene especificado en uno de los registros FSR0, FSR1 y SR2. Para acceder al valor se debe escribir la dirección del dato (12 bits) en el registro FSRx (FSRxH[3..0] y FSRxL[3..0]) y se lee/escribe el dato en el registro INDFx. Véase figura 1.25.

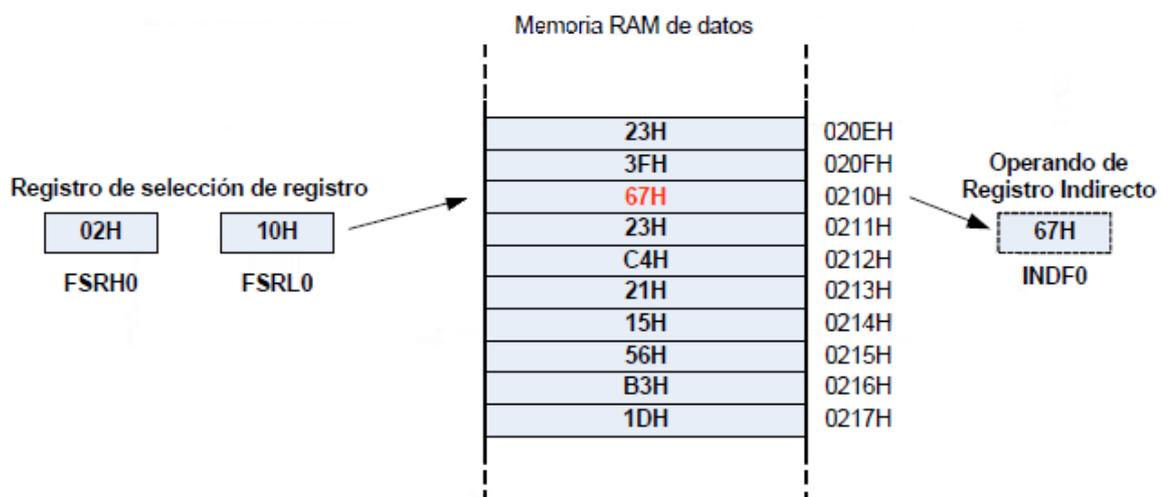


Figura 1.25.- Modo de direccionamiento indirecto

Los registros INDFx son registros virtuales, aunque tienen una dirección asignada en la zona de SFR's, físicamente se corresponden con la dirección de memoria apuntada por el correspondiente FSRx.

#### 1.4.3.11 Memoria EEPROM de datos

- El uC PIC18F4550 dispone una memoria EEPROM de datos de 256 bytes. Al ser una memoria no volátil los datos almacenados en ella se mantienen aún en ausencia de tensión de alimentación.
- El acceso a esta memoria se realiza mediante los SFR's: EECON1, EECON2, EEDATA, EEADR.
- Esta memoria permite hasta 1.000.000 de ciclos de borrado/escritura.
- Se puede leer/escribir de forma individual en cada una de las 256 posiciones de memoria.
- Cuando se realiza una operación de escritura la circuitería interna del uC se encarga de borrar previamente la posición en la que se desea escribir. La duración de un ciclo completo de borrado/escritura de un byte en la memoria EEPROM suele ser de unos 4ms.

#### 1.4.3.12 Sistema de interrupciones

- El uC PIC18F4550 dispone de 21 fuentes de interrupciones. Se distinguen dos grupos de interrupciones:
- Grupo general de interrupciones:

® **Grupo general de interrupciones: Véase tabla 1.3**

*Tabla 1.3.-Grupo de interrupciones*

Interrupción del Temporizador 0
Interrupción externa 0
Interrupción externa 1
Interrupción externa 2

® **Grupo de interrupciones de periféricos. Véase tabla 1.4**

*Tabla 1.4.- Interrupciones de periféricos*

Interrupción del SPP	Interrupción de fallo del oscilador
Interrupción del A/D	Interrupción del comparador
Interrupción de recepción de la EUSART	Interrupción del USB
Interrupción de transmisión de la EUSART	Interrupción de escritura en Flash/EEPROM
Interrupción del MSSP	Interrupción de colisión de bus (MSSP)
Interrupción del CCP1	Interrupción de detección de anomalías en VDD
Interrupción del Temporizador 2	Interrupción del Temporizador 3
Interrupción del Temporizador 1	Interrupción del CCP2

- Se dispone de dos niveles de prioridad:
  - ® Nivel alto vectorizado en la dirección 0008H
  - ® Nivel bajo, vectorizado en la dirección 0018H

Todas las interrupciones pueden ser programadas con cualquiera de las dos prioridades, salvo la interrupción externa 0 (que siempre tiene alta prioridad).
- Todas las interrupciones disponen de 3 bits de configuración (excepto la interrupción externa 0 que tiene dos):
  - ® Bit de habilitación de interrupción: permite habilitar a nivel individual la interrupción.
  - ® Flag de interrupción: se pone a '1' cuando se produce la condición de interrupción independientemente de si la interrupción está

habilitada o no. Este flag debe ponerse '0' por software cuando se procesa la interrupción.

- ® Bit de prioridad de interrupción: establece si la interrupción es de alta o de baja prioridad (este bit no está disponible para la interrupción externa 0).

### 1.4.3.13 Unidades funcionales

El uC PIC18F4550 dispone de una serie de Unidades Funcionales que le permiten:

- Realizar tareas específicas especializadas (conversión A/D, transmisión/recepción de datos, generación de señales digitales con temporizaciones programables, etc.). Véase tabla 1.5.
- Optimizar el rendimiento del uC, ya que estas unidades trabajan en paralelo a la CPU permitiendo que ésta se centre en otras tareas como procesado de datos, cálculos, movimiento de datos, etc.

*Tabla 1.5.- Unidades Funcionales del Microcontrolador*

Puertos de E/S	Unidad de Comparación/Captura/PWM mejorada (ECCP)
Temporizador 0	Canal de comunicación serie EUSART
Temporizador 1	Canal de comunicación serie MSSP
Temporizador 2	Canal de comunicación serie USB
Temporizador 3	Módulo analógico de comparación
Convertidor A/D	Canal de transmisión de datos en paralelo (SPP)
Unidad de Comparación/Captura/PWM (CCP)	

### 1.4.3.14 Puertos de E/S:

El uC PIC18F4550 dispone 5 puertos de E/S que incluyen un total de 35 líneas digitales de E/S. Véase tabla 1.6.

Tabla 1.6.- Puertos de Entrada/Salida

PUERTO	LINEAS DE ENTRADA/SALIDA
PORTA	7 LINEAS DE ENTRADA/SALIDA
PORTB	8 LINEAS DE ENTRADA/SALIDA
PORTC	6 LINEAS DE ENTRADA/SALIDA+ 2 LINEAS DE ENTRADA
PORTD	8 LINEAS DE ENTRADA/SALIDA
PORTE	3 LINEAS DE ENTRADA/SALIDA + 1 LINEAS DE ENTRADA

Todas las líneas digitales de E/S disponen de al menos una función alternativa asociada a alguna circuitería específica del uC, figura 1.26. Cuando una línea trabaja en el modo alternativo no puede ser utilizada como línea digital de E/S estándar.

### DIAGRAMA DE BLOQUES GENÉRICO DE UN PIN DE E/S

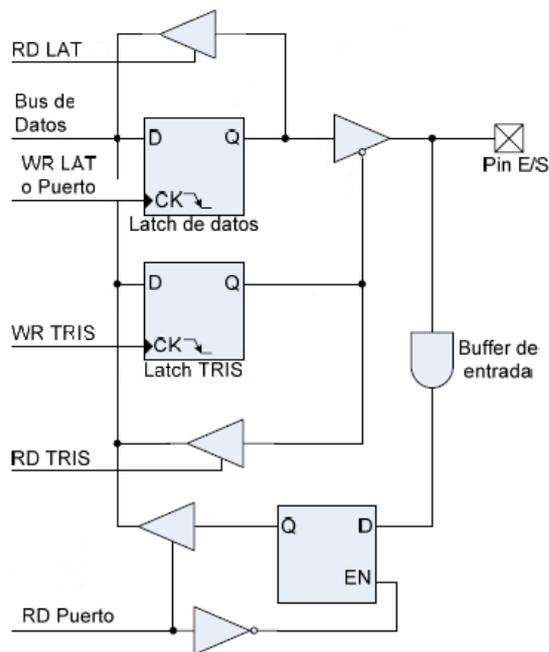


Figura 1.26.- Diagrama de bloques de un pin E/S

## **PUERTO A:**

Dispone de 7 líneas de E/S. Las funciones alternativas son:

- RA0: entrada analógica (AN0)/ entrada de comparación (C1IN-)
- RA1: entrada analógica (AN1)/ entrada de comparación (C2IN-)
- RA2: entrada analógica (AN2)/ entrada de comparación (C2IN+)
- RA3: entrada analógica (AN3)/ entrada de comparación (C1IN+)
- RA4: entrada de reloj del Temporizador 0 (T0CKI)/salida de comparación (C1OUT)
- RA5: entrada analógica (AN4)/ salida de comparación (C2OUT)/HLVDIN entrada de detección de tensión alta/baja
- RA6: entrada del oscilador principal (OSC2)/salida de señal de reloj (CLK0)

En el reset las líneas RA0, RA1, RA2, RA3 y RA5 se configuran como líneas de entrada analógicas.

## **PUERTO B:**

Dispone de 8 líneas de E/S. Las funciones alternativas son:

- RB0: entrada analógica (AN12)/ interrupción externa 0 (INT0)/entrada de fallo del ECCP (FLT0)/entrada de datos del SPI (SDI)/línea de datos del I2C (SDA).
- RB1: entrada analógica (AN10)/ interrupción externa 1 (INT1)/línea de reloj del SPI (SDI)/línea de reloj del I2C (SDA).
- RB2: entrada analógica (AN8)/ interrupción externa 2 (INT2)/salida de datos del USB (VCMO).
- RB3: entrada analógica (AN9)/ línea de E/S del CCP2 (CCP2)/salida de datos del USB (VPO).
- RB4: entrada analógica (AN11)/ interrupción por cambio en pin (KBI0)/ salida de CS del SSP (CSSP).
- RB5: interrupción por cambio en pin (KBI1)/ línea de programación (PGM).

- RB6: interrupción por cambio en pin (KBI2)/ línea de programación (PGC).
- RB7: interrupción por cambio en pin (KBI3)/ línea de programación (PGD).

Resistencias de pull.up: Todas las líneas del puerto B disponen de resistencias de pull up internas que pueden ser activadas poniendo el bit RBPU del registro INTCON2 a '0' (RPBU='1' después de un reset). Si una línea del puerto B se configura como salida la resistencia de pull-up correspondiente se desactiva automáticamente.

Por defecto, en el reset las líneas RB4..RB0 están programadas como entradas analógicas.

### **PUERTO C:**

Dispone de 5 líneas de E/S (RC0, RC1, RC2, RC6 y RC7) y 2 líneas de solo entrada.

(RC4 y RC5). Las funciones alternativas son:

- RC0: salida del oscilador del Temp. 1 (T1OSO)/ entrada de contador de los Temp. 1 y 3 (T13CKI).
- RC1: entrada del oscilador del Temp. 1 (T1OSI)/ línea de E/S del CCP2 (CCP2)/ salida OE del transceiver del USB (UOE).
- RC2: línea de E/S del CCP1 (CCP1)/ salida PWM del ECCP1 (P1A).
- RC4: línea menos del bus USB (D-) / línea de entrada del USB (VM).
- RC5: línea más del bus USB (D-) / línea de entrada del USB (VP).
- RC6: salida de transmisión del EUSART (TX)/ línea de reloj del EUSART (CK).
- RC7: entrada de recepción del EUSART (RX)/ línea de datos síncrona del EUSART (DT)/ salida de datos del SPI (SDO).

En el reset todas las líneas del puerto C quedan configuradas como entradas digitales.

## **PUERTO D:**

Dispone de 8 líneas de E/S. Las funciones alternativas son:

- RD0: línea de datos del SPP (SPP0)
- RD1: línea de datos del SPP (SPP1)
- RD2: línea de datos del SPP (SPP2)
- RD3: línea de datos del SPP (SPP3)
- RD4: línea de datos del SPP (SPP4)
- RD5: línea de datos del SPP (SPP5) / salida PWM del ECCP1 (P1B)
- RD6: línea de datos del SPP (SPP6) / salida PWM del ECCP1 (P1C)
- RD7: línea de datos del SPP (SPP7) / salida PWM del ECCP1 (P1D).

Resistencias de pull.up: Todas las líneas del puerto D disponen de resistencias de pull-up internas que pueden ser activadas poniendo el bit RDPU del registro PORTE a '1' (RPDU='0' después de un reset). Si una línea del puerto D se configura como salida la resistencia de pull-up correspondiente se desactiva automáticamente.

## **PUERTO E:**

Dispone de 3 líneas de E/S (RE0, RE1 y RE2) y 1 línea de solo entrada (RE3). Las funciones alternativas son:

- RE0: entrada analógica (AN5)/ salida de reloj 1 del SPP (CK1SPP)
- RE1: entrada analógica (AN6)/ salida de reloj 2 del SPP (CK2SPP)
- RE2: entrada analógica (AN7)/ salida de habilitación del SPP (OESPP)
- RE3: Línea de reset externo (MCLR) / línea de programación (VPP)

En el reset todas las líneas RE2..RE0 se configuran como entradas analógicas. Para poder utilizarlas como líneas digitales de E/S hay que desactivar la función analógica:

MOVLW 0FH;                    Se desactiva la función de entrada analógica  
 MOVWF ADCON1;            para las líneas RE0, RE1 y RE2

La línea RE3 por defecto tiene la función de Reset del uC. Si se desea desactivar la función de Reset y utilizar RE3 como línea de entrada digital hay que poner a '0' el bit MCLRE del registro de configuración CONFIG3H.

#### 1.4.3.15 Convertidor Analógico/Digital (Véase tabla 1.7)

Características fundamentales:

- 10 bits de resolución
- 13 canales multiplexados
- Señal de reloj de conversión configurable
- Tiempo de adquisición programable (0 a 20TAD)
- Posibilidad de establecer el rango de tensiones de conversión mediante tensiones de referencia externas

*Tabla 1.7.- Configuración de líneas de conversión A/D*

PCFG3..PCFG0	AN12	AN11	AN10	AN9	AN8	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0001	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0010	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0011	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0100	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0101	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0110	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0111	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A
1000	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A
1001	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A
1010	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A
1011	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A
1100	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A
1101	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A
1110	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A
1111	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D

## Rango de tensiones de conversión:

Por defecto el rango de tensiones de conversión del convertidor A/D del PIC18F4550 es de 0V a 5V. Véase figura 1.27. Sin embargo, en ocasiones puede resultar interesante modificar este rango para aumentar la resolución de la conversión acercando las tensiones de referencia máxima y mínima  $V_{REF+}$  y  $V_{REF-}$  a los límites de variación de la señal que se desea digitalizar.

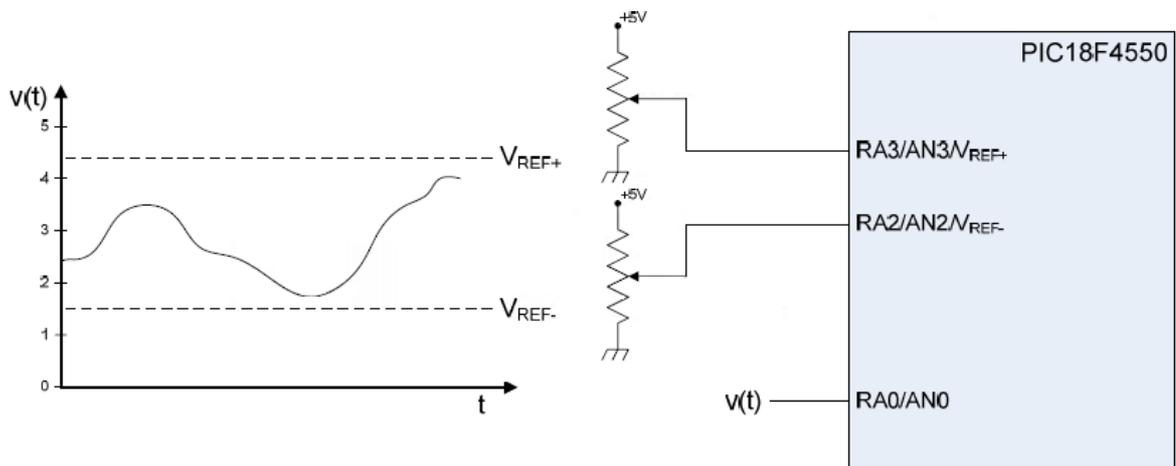


Figura 1.27.- Rango de tensión del convertidor A/D

Esto se puede conseguir configurando las líneas RA2/AN2/VREF- y RA3/AN3/VREF+ como tensiones de referencia del convertidor A/D (poniendo a '1' los bits VCFG1 y VCFG0 del registro ADCON1). De esta forma el rango de tensiones de conversión vendrá determinado por las tensiones que se conecten en dichas líneas.

## Señal de reloj de conversión

Se define TAD como el tiempo de conversión de 1 bit. Una operación completa de conversión requiere un total de 11 TAD para 10 bits.

La señal de reloj que genera las temporizaciones TAD puede ser establecida mediante los bits ADCS2, ADCS1, ADCS0 del registro ADCON2. Véase tabla 1.8. Existen dos fuentes para dicha señal de reloj:

- El oscilador principal
- Una red RC interna que incorpora el propio convertidor A/D. Esta red puede utilizarse cuando se deseen realizar conversiones en modos de bajo consumo. Esta red RC permite que se puedan llevar a cabo conversiones con el oscilador principal desactivado.

*Tabla 1.8.- Configuración de la señal de conversión del reloj*

ADCS2	ADCS1	ADCS0	SEÑAL DE RELOJ DE CONVERSION
0	0	0	$F_{OSC}/2$
0	0	1	$F_{OSC}/8$
0	1	0	$F_{OSC}/32$
0	1	1	$F_{RC}$ (oscilador RC interno)
1	0	0	$F_{OSC}/4$
1	0	1	$F_{OSC}/16$
1	1	0	$F_{OSC}/64$
1	1	1	$F_{RC}$ (oscilador RC interno)

El valor de TAD debe ser lo menor posible pero siempre superior al TAD mínimo indicado en las hojas de datos de PIC18F4550: 0,7 $\mu$ s.

### **Establecimiento del tiempo de adquisición (S&H). (Véase tabla 1.9)**

La circuitería interna del convertidor A/D incorpora un condensador de muestreo.

Antes de realizar una conversión se debe asegurar que dicho condensador ha sido totalmente cargado a la tensión del canal seleccionado.

Cuando se realice un cambio en la selección de canal se debe esperar un tiempo que dependerá de la impedancia de entrada del convertidor A/D y de la impedancia de salida del circuito sobre el que se está haciendo la conversión. Existen dos opciones para generar este retardo antes de comenzar la conversión:

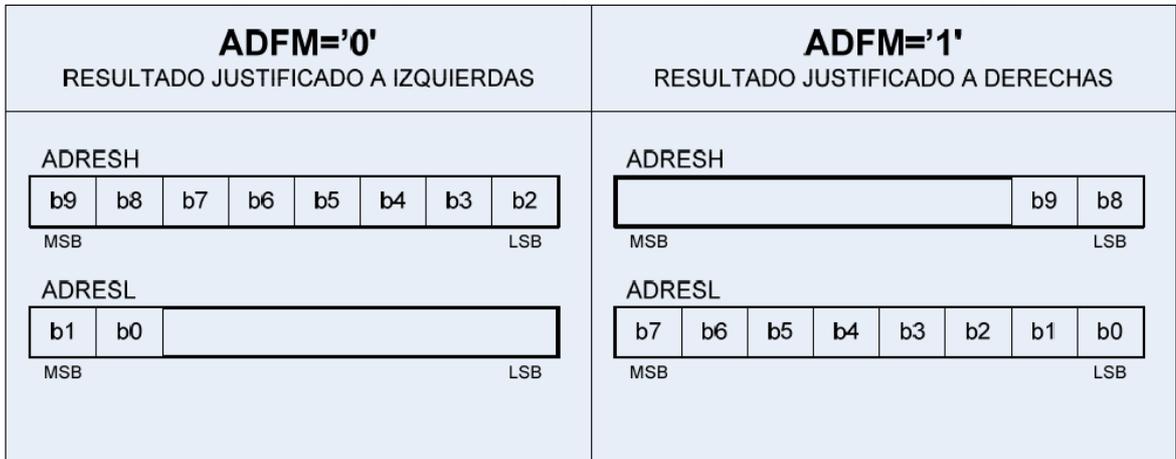
- Por programa: se implementa un retardo software entre la selección del nuevo canal y el inicio de la conversión.
- Estableciendo un tiempo de adquisición automático: se programa un tiempo de adquisición que se establecerá de forma automática entre la orden de inicio de conversión y el muestreo de la señal para iniciar la conversión. Dicho tiempo puede ser programado mediante los bits ACQT2, ACQT1, ACQT0 del registro ADCON2.  
Este tiempo puede tener unos valores que oscilan entre  $2 \cdot T_{AD}$  y  $20 \cdot T_{AD}$ .

*Tabla 1.9.- Configuración del tiempo de Adquisición*

ACQT2	ACQT1	ACQT0	TIEMPO DE ADQUISICION
0	0	0	$0 \cdot T_{AD}$
0	0	1	$2 \cdot T_{AD}$
0	1	0	$4 \cdot T_{AD}$
0	1	1	$6 \cdot T_{AD}$
1	0	0	$8 \cdot T_{AD}$
1	0	1	$12 \cdot T_{AD}$
1	1	0	$16 \cdot T_{AD}$
1	1	1	$20 \cdot T_{AD}$

**Almacenamiento del resultado de la conversión A/D:**

Una vez acabada la conversión A/D el resultado de la misma (un valor de 10 bits) queda almacenado en los registros ADRESH y ADRESL, figura 1.28. Existen dos posibles formas de almacenar el resultado en estos registros dependiendo del valor del bit ADFM del registro ADCON2:



*Figura 1.28.- Almacenamiento de la conversión A/D*

#### 1.4.3.16 Canal de la comunicación serie USART

Características fundamentales:

- Modos de trabajo:
    - Ⓜ Modo asíncrono de 8 bits
    - Ⓜ Modo asíncrono de 9 bits
    - Ⓜ Modo síncrono Maestro
    - Ⓜ Modo síncrono Esclavo
  - Auto-activación por detección de dato recibido
  - Detección automática de velocidad de comunicación (baudrate)
  - Transmisión y detección de carácter de BREAK (bus LIN)
- En este tema solo se tratará el modo asíncrono básico (8 y 9 bits).

#### **Recepción en el modo asíncrono de la USART (Véase Figura 1.29)**

El bloque de recepción de la USART incorpora un registro de desplazamiento serie (RSR). Los datos entran en serie por el pin RC7/RX y son muestreados por el bloque de lectura de bits (que trabaja a una frecuencia de 16 veces el baudrate). Si el bit de habilitación de recepción CREN está a '1', el bloque de lectura de bits identifica los bits recibidos (Start Bit, Bits de datos, 9º bit y Stop bit) y los va pasando en serie al RSR. Una vez se han recibido todos los bits correspondientes a un byte el valor recibido se pasa en paralelo de RSR al

registro RCREG. De esta forma el registro RSR queda listo para recibir un nuevo dato.

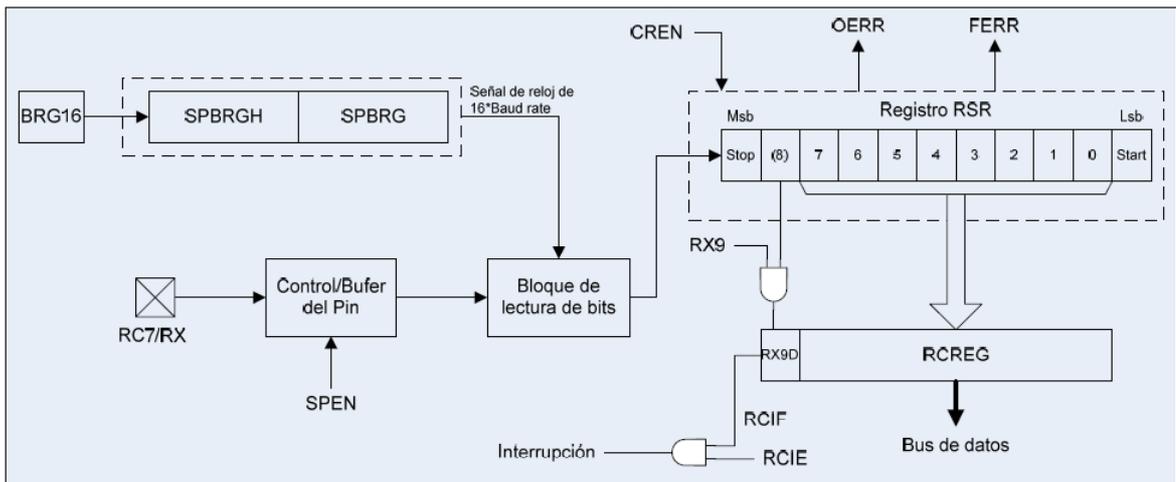


Figura 1.29.- Recepción en modo asíncrono de la USART

Si durante el proceso de recepción se produce algún error de formato (el valor del Stop bit el '0' en lugar de '1') o de sobre escritura (se recibe un nuevo byte antes de que el registro RSR se haya volcado en el RCREG) se pondrá a '1' el bit correspondiente (FERR/OERR).

Cada vez que se recibe un dato el flag RCIF se pone a '1'. Si el bit de habilitación de la interrupción de recepción del EUSART está a '1' se generará una interrupción. El bit RCIF es de solo lectura, se pone a '1' cuando llega un nuevo dato a RCREG y se pone a '0' automáticamente cuando se lee dicho registro.

Si el modo de 9 bits ha sido activado (bit RX9 a '1') el valor del 9º bit recibido quedará almacenado en el bit RX9D.

### Transmisión en el modo asíncrono de la USART (Véase figura 1.30)

El bloque de recepción de la USART incorpora un registro de desplazamiento serie (TSR) que se encarga de enviar en serie por el pin RC6/TX los bits del dato a transmitir. La lógica que el registro del TSR se encarga de enviar además de los 8 bits de datos el Start bit y el Stop bit. Si el bit TX9 está a '1'

también se enviará como 9º bit el valor contenido en TX9D. La cadencia de esta transmisión viene determinada por la señal de reloj producida por el generador de velocidad de comunicación. Para que dicha señal de reloj llegue a TSR el bit TXEN debe estar '1' (habilitación de la transmisión).

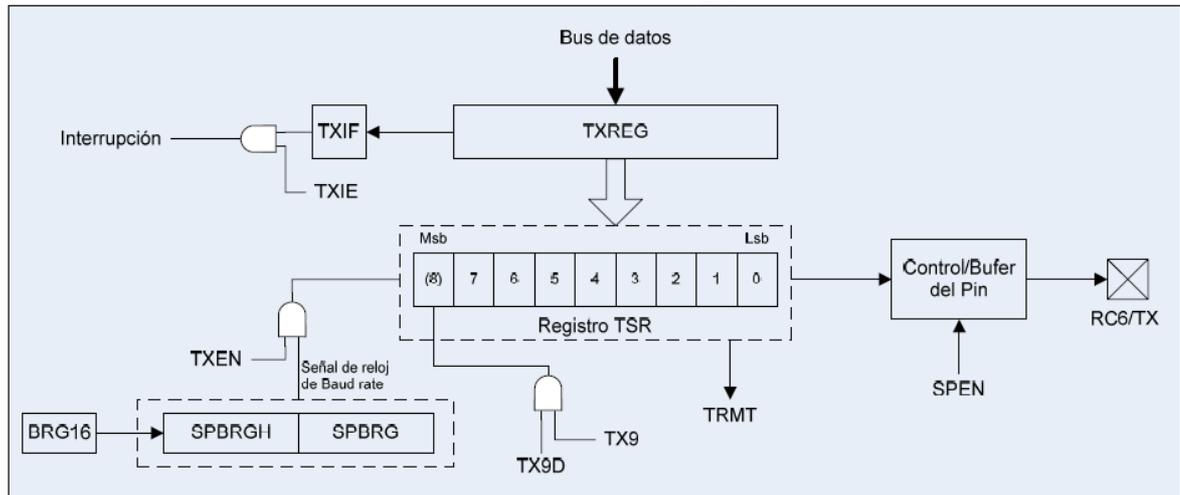


Figura 1.30.- Trasmisión en modo asíncrono de la USART

El bit TRMT se pone a '1' cuando el registro TRMT está vacío (este bit es de solo lectura). El bit TRMT no está asociado a ningún mecanismo de interrupción, sirve únicamente para saber cuando un dato ha sido completamente transmitido.

El flag TXIF se pone a '1' cuando el registro TXREG está vacío. El bit TXIF es de solo lectura, se pone automáticamente a '0' cuando se vuelve a escribir un valor en TXREG y se mantiene a '0' hasta que dicho valor pase de TXREG a TSR). Si el bit TXIF está a '1' y el bit de habilitación de la interrupción de transmisión del EUSART está a '1' se generará una interrupción. Por lo tanto, únicamente se debe habilitar la interrupción de transmisión del EUSART después de escribir en TXREG el primer dato que se quiere transmitir y se debe deshabilitar cuando se haya enviado el último dato. De lo contrario se estarían generando continuamente interrupciones de transmisión del EUSART.

## **1.5 MEMORIA 24LC512**

### **1.5.1 Descripción de la memoria 24LC512**

El C.I. 24LC512 es una memoria serie del tipo 64K x 8 EEPROM, es decir, una memoria eléctricamente borrable de 512 Kbits, capaz de operar en un amplio rango de tensiones (2.5 a 5.5v) y a una frecuencia máxima de reloj de 400KHz.

Este dispositivo permite realizar lecturas aleatorias y secuenciales de hasta 512 Kbits, es decir, el espacio total direccionable que puede ser ampliado hasta 4 Mbits mediante la utilización de tres líneas adicionales de direccionamiento que permiten conectar hasta ocho dispositivos en un mismo bus.

### **1.5.2 Características del circuito**

Entre las características del 24LC512 se puede enumerar las siguientes:

- Ⓜ Tecnología CMOS de baja potencia:
  - La corriente máxima en escritura es de 5 mA a 5.5V
  - La corriente máxima en lectura es de 400  $\mu$ A a 5.5V
  - La corriente de espera (standby) a 5.5V son 100 nA
- Ⓜ El bus formado por dos hilos con una interfaz serie, compatible con el estándar I2C
- Ⓜ Protección de escritura del hardware
- Ⓜ En un mismo ciclo pueden ser realizadas operaciones de borrado y escritura.
- Ⓜ La capacidad de cada página de escritura es de 128 bytes.
- Ⓜ Circuito interno de supresión de ruido.
- Ⓜ Hasta 1.000.000 de ciclos de borrado y escritura
- Ⓜ El tiempo máximo de escritura por ciclo es de 5ms.
- Ⓜ El dispositivo cuenta con una protección contra las descargas de electricidad estática de 4.000V.
- Ⓜ Acabados disponibles para soldaduras estándares y libres de plomo.
- Ⓜ Tiempo máximo de permanencia de datos de 200 años.

® Rangos de temperaturas de funcionamiento

- Industrial (I): -40°C a +85°C.
- Automoción (E): -40°C a +125°C.

### 1.5.3 Consumo de circuito

A partir de los valores de tensiones y corrientes suministrados por el fabricante se puede calcular el consumo del circuito para cada uno de los siguientes casos:

® Consumo máximo en escritura: P= 27.5 mW

® Consumo máximo en lectura: P= 2.2 mW

® Consumo en reposo: P= 0.055  $\mu$ W

### 1.5.4 Descripción de pines (tabla 1.10)

Tabla 1.10.- Funcionamiento de los pines para los diferentes encapsulados

Nombre	PDIP	SOIC	TSSOP	DFN	Función
A0	1	1	1	1	Selección de chip
A1	2	2	2	2	Selección de chip
(NC)	--	--	3, 4, 5	--	No conectados
A2	3	3	6	3	Selección de chip
Vss	4	4	7	4	Masa
SDA	5	5	8	5	Datos serie

### Entradas A0, A1 y A2

Las entradas A0, A1 y A2 son utilizadas por el 24LC512 para las operaciones con múltiples dispositivos. Los niveles lógicos en estas entradas se comparan con los bits correspondientes de la dirección esclavo. El chip es seleccionado si coinciden.

Pueden conectarse hasta ocho dispositivos en el mismo bus usando combinaciones de bits del Chip Select. Si estos pines se dejan sin conectar, las entradas serán conectadas internamente a Vss, mediante un circuito interno de pull-down.

En la mayoría de las aplicaciones, la direcciones de entrada A0, A1 y A2 son cableadas a nivel lógico '0' o '1'. Para los usos en los cuales estos pines son controlados por el microcontrolador u otro dispositivo de lógica programable, los pines de selección de chip deben ser puestos a nivel lógico '0' o '1' antes de que la operación normal del dispositivo pueda proceder.

### **Datos Serie (SDA)**

Este es un pin bidireccional que se usa para transferir direcciones y datos de entrada y de salida de los dispositivos. Se trata de un pin en colector abierto, por lo tanto, el bus SDA requiere una resistencia de pull-up para conectarse a Vcc (típicamente 10 k. para 100 khz, 2 k. para 400 khz y 1 Mhz).

Para una transferencia de datos normal, SDA permite el cambio solo durante el nivel bajo de SDL. Los cambios durante el estado alto de SCL son reservados para indicar las condiciones de Start y Stop.

### **Reloj Serie (SCL)**

Esta entrada se utiliza para sincronizar la transferencia de datos con el dispositivo.

### **Protección de Escritura (WP)**

Este pin puede ser conectado a Vss o a Vcc. El circuito interno de pull-down de este pin mantendrá el dispositivo en un estado de no protección si permanece flotante, sin embargo, ésta no es una práctica recomendable. Si WP se conecta a Vss, las operaciones sobre la memoria pueden ser realizadas (lectura/escritura de la memoria completa, desde 0000 a FFFF). Si se conecta

a Vcc, la operación de escritura se inhibe mientras que la operación de lectura no se ve afectada.

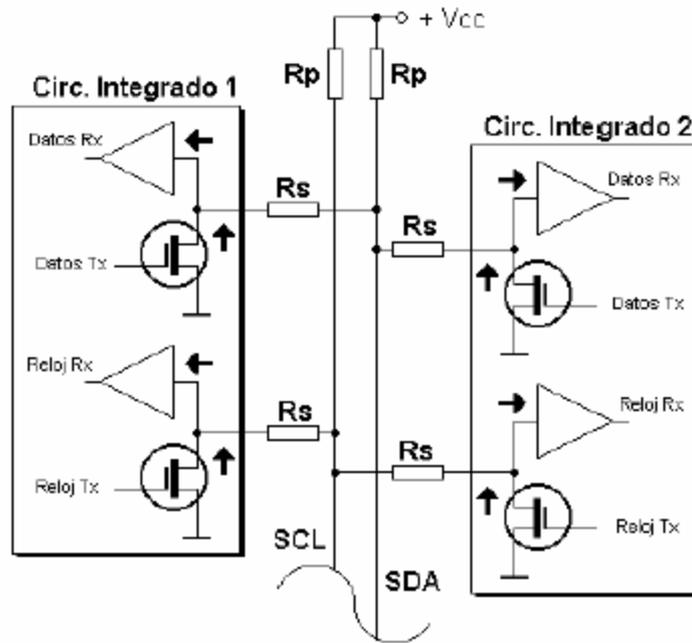
### 1.5.5 Descripción y temporización del I2C

El bus I2C fue diseñado principalmente para la implementación de un camino de datos a corta distancia. Diseñado por Philips, este sistema de intercambio de información a través de tan solo dos cables permite a circuitos integrados y módulos OEM interactuar entre sí a velocidades relativamente lentas. Emplea comunicación serie, utilizando un conductor para manejar el timing (pulsos de reloj) y otro para intercambiar datos.

Este bus se basa en tres señales:

- Ⓜ **SDA (System Data)** por la cual viajan los datos entre los dispositivos.
- Ⓜ **SCL (System Clock)** por la cual transitan los pulsos de reloj que sincronizan el sistema.
- Ⓜ **GND (Masa)** Interconectada entre todos los dispositivos "enganchados" al bus.

Las líneas SDA y SCL son del tipo drenador abierto, similares a las de colector abierto pero asociadas a un transistor de efecto de campo (ó FET). Se deben poner en estado alto (conectar a la alimentación por medio de resistores Pull-Up) para construir una estructura de bus tal que se permita conectar en paralelo múltiples entradas y salidas.



*Figura 1.31.- Configuración básica del bus I2C*

En la figura 1.31, se observa la configuración eléctrica básica del bus. Las dos líneas de comunicación disponen de niveles lógicos altos cuando están inactivas. Inicialmente el número de dispositivos que se puede conectar al bus es ilimitado, pero obsérvese que las líneas tienen una especificación máxima de 400 pF en lo que respecta a capacidad de carga. La máxima velocidad de transmisión de datos que se puede obtener en el bus es de aproximadamente 100 Kbits por segundo, lo que limitará, como se verá posteriormente, la velocidad de lectura y escritura sobre la memoria a estudiar.

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

#### **2.1 ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA.**

El presente capítulo justifica la utilidad y describe el prototipo de adquisición de datos utilizando la tecnología ZigBee; permitiendo con ello generar un esquema general del sistema, válido para la construcción del hardware y software del proyecto, por tal razón se ha considerado lo siguiente:

El diseño y construcción de los Data Logger, que consiste en dar el alcance necesario para el estudio y aplicación de los mismos en el campo industrial.

Para el efecto, se estableció que la implementación se lleve a cabo en los siguientes términos:

- ® Este proyecto es muy importante, ya que permite manejar una nueva tecnología para ser utilizada en el campo industrial y no como en un principio fue diseñada solo para automatizar hogares o edificios.
- ® Acondicionamiento de las diferentes señales analógicas o digitales que ingresen a nuestros módulos para posteriormente ser visualizados y obtener un historial que permita recabar información del estado de temperatura de nuestro invernadero
- ® Selección del software que garantice una plena visualización de los datos almacenados durante días, meses e incluso años.

## 2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

Para la realización del proyecto se ha visto la necesidad de presentar un diagrama de bloques del sistema, el mismo que se muestra en la figura 2.1.

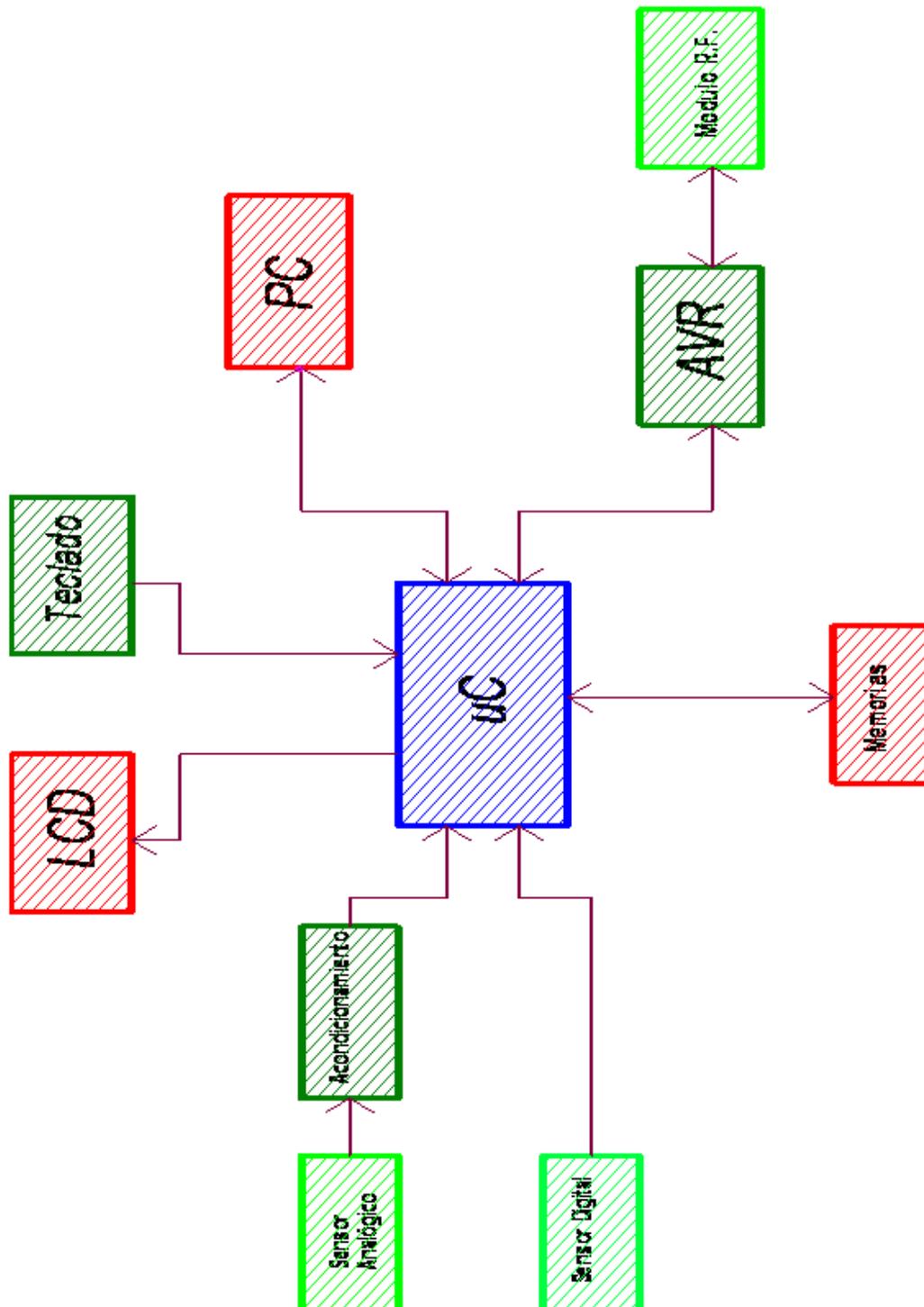


Figura 2.1.- Diagrama de bloques del Sistema

## **Sensor Analógico**

Este bloque está representado por el sensor LM35 el cual proporciona voltajes de salida lineales y equivale a 10mV/°C por lo tanto:

$$+1500 \text{ mV} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}, +250 \text{ mV} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}, -550 \text{ mV} = -55 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

## **Acondicionamiento**

El bloque representa la amplificación de las señales de voltaje del sensor analógico a voltajes que el microcontrolador pueda entender y que están estandarizados en el rango de 0 – 5V

## **Sensor Digital**

En este bloque está el sensor DS18B20 el mismo que se comunica a través de un autobús 1-Wire, que por definición requiere sólo una línea de datos para la comunicación con un microcontrolador. Tiene un rango de temperatura de -55 °C a +125 °C y tiene una precisión de  $\pm 0.5$  °C en el rango de -10 °C a +85 °C.

## **LCD**

Este bloque permite visualizar la fecha, hora y los valores que marquen los sensores en cada instante del tiempo.

## **Teclado**

Este bloque está representado por el teclado, quien permite actualizar la fecha y hora del Data Logger, enviar al modo USB para bajar datos y también permite visualizar los datos de los sensores a través del LCD.

## **Memorias**

Este bloque está representado por las memorias 24LC512, son quienes almacenan todos los datos recogidos por los sensores con su fecha y hora.

## **AVR**

Este bloque representa a un microcontrolador ATmega 169 que permite la información entre el módulo Zigbee y el PIC 18F4550 a través de la comunicación serial.

## **Módulo R.F.**

Están conformados por los módulos ZigBee que permiten la comunicación R.F. de los esclavos hacia el maestro, quien a su vez almacena sus propios datos y el de sus esclavos.

## **PC**

Es la representación de un computador personal, que a través de la comunicación USB y del programa Visual Basic se procede a bajar los datos almacenados en las memorias de los Data Logger, que son guardados en un formato de texto, para posteriormente estos datos ser manipulados.

## **uC.**

Este bloque está representado por el PIC18F4550, quien controla el almacenamiento de datos en la memoria, visualización de los valores en el LCD y el envío de los datos a través del puerto USB a la PC

## **2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS**

### **2.3.1 Sistema Electrónico**

La parte electrónica es muy importante en cada uno de los diseños, debido a que los elementos y módulos del data Logger deben trabajar indistintamente con voltajes diferentes de ahí su importancia para que no sufran algún daño por voltajes elevados y no permitidos que a su vez se encuentren trabajando en sus límites, produciendo un gasto mayor en los elementos y por ende una vida útil menor, por su importancia para su diseño se ha dividido en tres partes como son:

- Ⓜ Acondicionamiento de Voltaje de 12Vcc a 3.3Vcc y de 12Vcc a 5Vcc
- Ⓜ Amplificación de la señal de voltaje del sensor
- Ⓜ Acondicionamiento de corriente (I) a voltaje (V)

#### **2.3.1.1 Acondicionamiento de Voltaje (V)**

En el acondicionamiento de voltaje se tiene dos partes muy importantes como son el acondicionamiento de voltaje de 12V a 5Vcc y de 12Vcc a 3.3Vcc.

##### **Acondicionamiento de Voltaje de 12V a 5Vcc**

Este acondicionamiento es importante porque la gran mayoría de los elementos trabajan con voltajes a 5Vcc como se muestra en la figura 2.2.

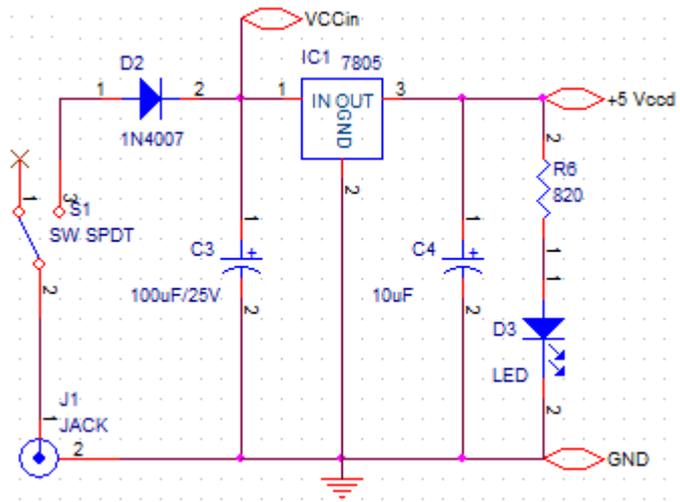


Figura 2.2.- Acondicionamiento de 12Vcc a 5Vcc

En este diseño se tiene un regulador de voltaje 7805 que permite acondicionar el nivel de voltaje que ingrese de la batería de 12Vcc a un nivel de voltaje de 5Vcc, siendo adecuado para la mayoría de los elementos que trabajan con 5Vcc y en especial nuestro microcontrolador PIC18F4550. De ahí su importancia de acondicionar el voltaje que ingresa a través de la batería.

### Acondicionamiento de Voltaje de 12V a 3.3Vcc

Este acondicionamiento es de gran importante debido a que los equipos Zigbee funcionan y trabajan con voltajes entre 2.8Vcc a 3.4Vcc, en la figura 2.3 se puede observar el acondicionamiento.

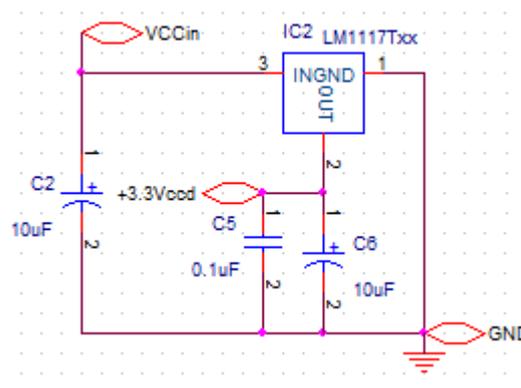


Figura 2.3.- Acondicionamiento de 12Vcc a 3.3Vcc

En este circuito se utiliza un regulador de voltaje LM1117, debido a que es una serie de baja tensión que los reguladores de deserción normal, puede proporcionar hasta 1A de corriente. El LM1117 está disponible en cuatro voltajes fijos como son de 1.2V, 1.8V, 3.3V y 5.0V. Además está también disponible en versión ajustable. El chip de precisión ajusta el recorte de referencia y tensión de salida con una precisión de  $\pm 2\%$  límite actual. Por tal motivo en este diseño es muy importante porque los equipos Zigbee están trabajando a voltajes de 3.3V.

### 2.3.1.2 Amplificación de la señal de voltaje del sensor

La amplificación de voltaje depende de las salidas del sensor LM35 y de las entradas requeridas por el PIC18F4550. Véase figura 2.4.

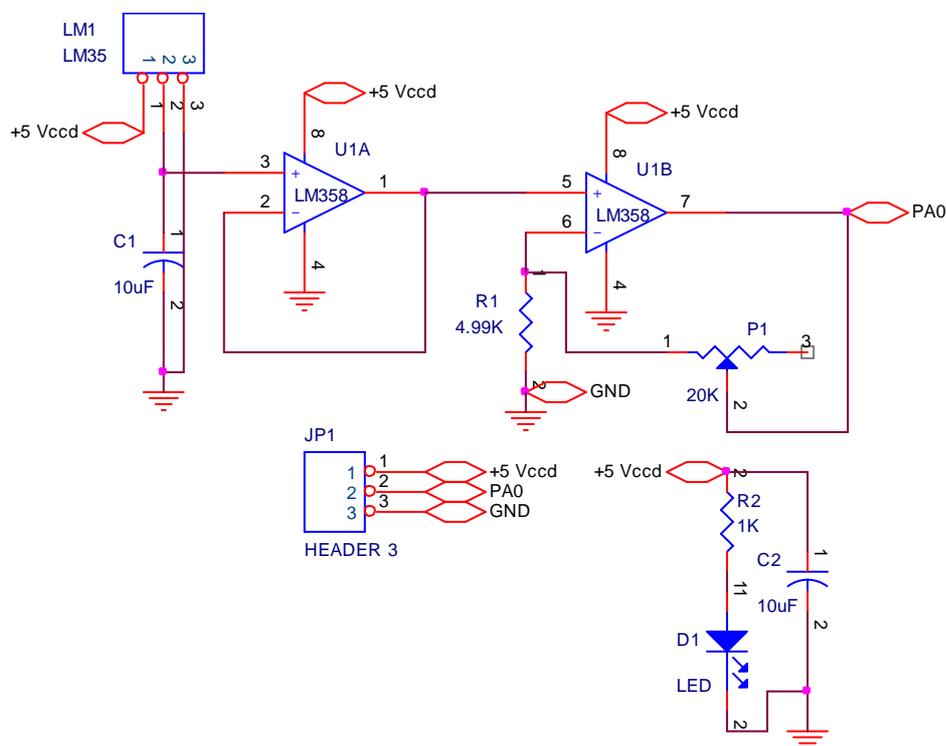


Figura 2.4.- Amplificación de voltaje a 0-5V

En este circuito se amplifica la señal de voltaje del sensor LM35 de 0 – 1000mVcc a 0 – 5Vcc que es el voltaje requerido por el microcontrolador. Se utiliza un amplificador operacional LM358 debido a que el amplificador

operacional puede funcionar a tensiones de alimentación tan bajas como 3,0 V o hasta de 32 V y por su bajo nivel de las corrientes de polarización de entrada. La amplificación del voltaje del sensor LM35 es lineal y equivale a 10mV/°C por lo tanto: +1000mV = 100°C (5V), 0mV = 0°C (0V).

### 2.3.1.3 Acondicionamiento de Corriente (I) a Voltaje (V)

Este acondicionamiento permite obtener señales de voltaje estándar de (0-5) V, a partir de señales de corriente de (4 - 20) mA. Véase figura 2.5.

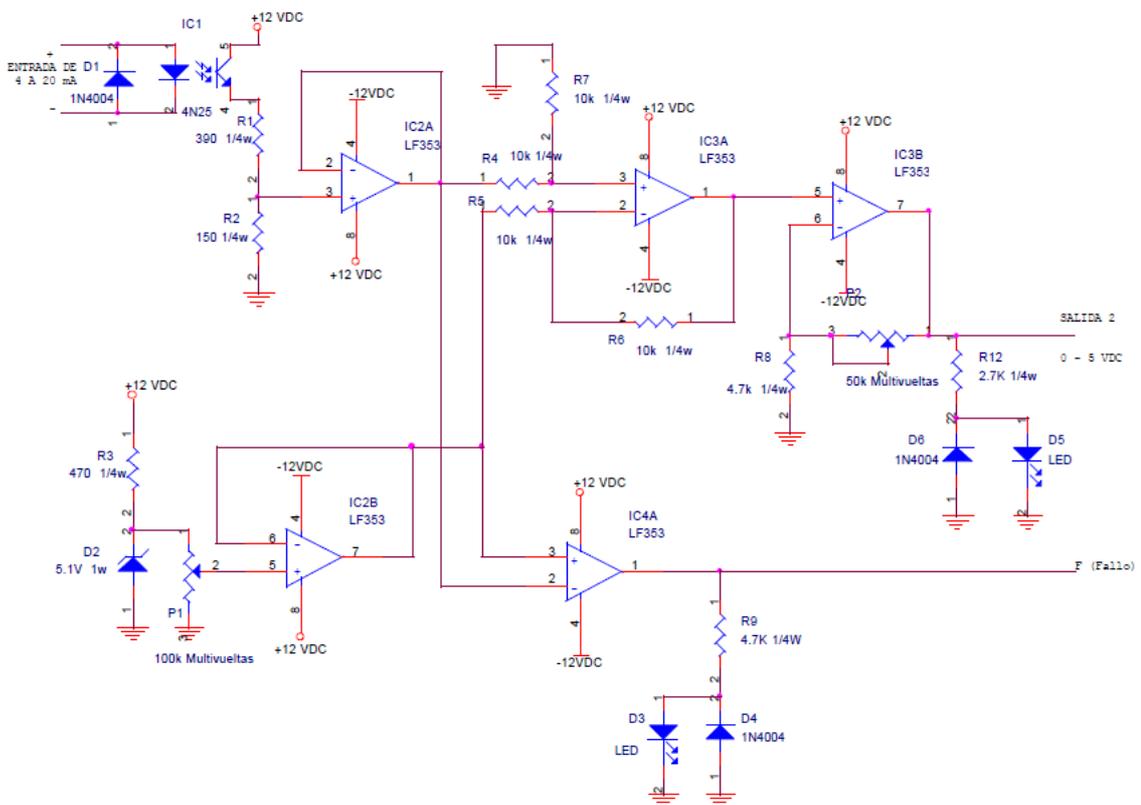


Figura 2.5.- Acondicionamiento de Corriente a Voltaje

Este acondicionamiento permite obtener señales de voltaje de (0 - 5V) requeridos para las entradas del PIC18F4550, se utiliza amplificadores operacionales LF353 que es un amplificador de entrada JFET operativa con un interno de entrada compensada tensión de offset. Estos dispositivos son de bajo costo, alta velocidad, de doble entrada JFET. Este circuito permite acoplar sensores cuya salida sea de corriente estándar de (4-20mA).

## 2.3.2 Sistema de Comunicación

En este sistema de comunicación se diferencia cuatro partes muy importantes como son:

- Ⓜ Comunicación módulo Zigbee - PIC18F4550
- Ⓜ Comunicación Maestro - Esclavos
- Ⓜ Comunicación Maestro – PC
- Ⓜ Comunicación PIC18F4550 – Memorias

### 2.3.2.1 Comunicación módulo Zigbee - PIC18F4550

La comunicación Zigbee – PIC18F4550 se realiza a través de la comunicación serial en donde el módulo Zigbee se comunica con el AVR debido a que los dos están polarizados con un voltaje de 3.3Vcc y el AVR se comunica a través del USART con el PIC18F4550 acondicionando los voltajes de 3.3Vcc a 5Vcc. Véase figura 2.6.

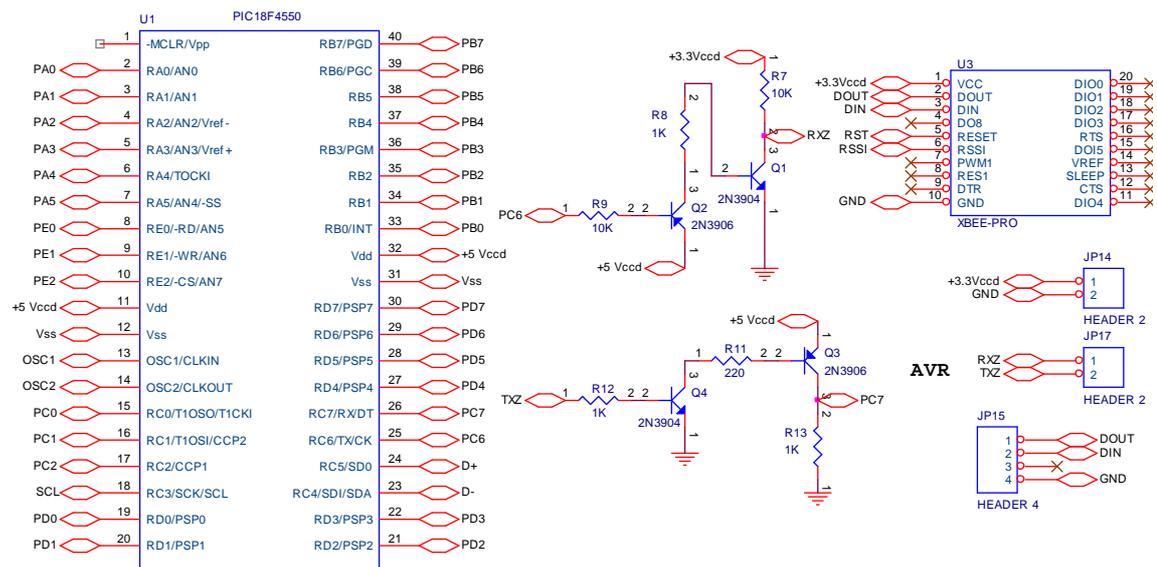


Figura 2.6.- Comunicación PIC – Módulo Zigbee

### 2.3.2.2 Comunicación Maestro – Esclavos

En la comunicación Maestro - esclavos se utiliza la red ZigBee que es la encargada de llevar los datos de sus respectivos esclavos al maestro, este a su vez almacena en las memorias, que están designadas y divididas en la  $\frac{1}{4}$  parte para cada esclavo y la  $\frac{1}{2}$  para sus datos propios. Véase figura 2.7.

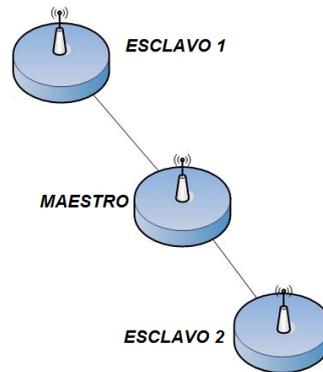


Figura 2.7.- Comunicación maestro - esclavos

### 2.3.2.3 Comunicación Maestro – PC

La comunicación Maestro – PC está dada a través de la comunicación USB debido a dos factores muy importantes, como es la velocidad de comunicación USB y por la facilidad de bajar los datos a través de un PC portátil. Véase figura 2.8.

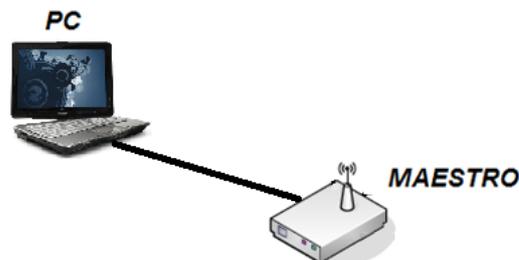


Figura 2.8.- Comunicación maestro - PC

### 2.3.2.4 Comunicación PIC18F4550 – Memorias

La comunicación PIC18F4550 – memorias se realiza a través de la comunicación I2C que es un estándar que facilita la comunicación entre el

microcontrolador y las memorias con cierto nivel de "inteligencia", sólo requiere de dos líneas de señal y un común o masa. La metodología de comunicación de datos del bus I2C es en serie y sincrónica. Una de las señales del bus marca el tiempo (pulsos de reloj) (SCL) y la otra se utiliza para intercambiar datos (SDA). Véase figura 2.9.

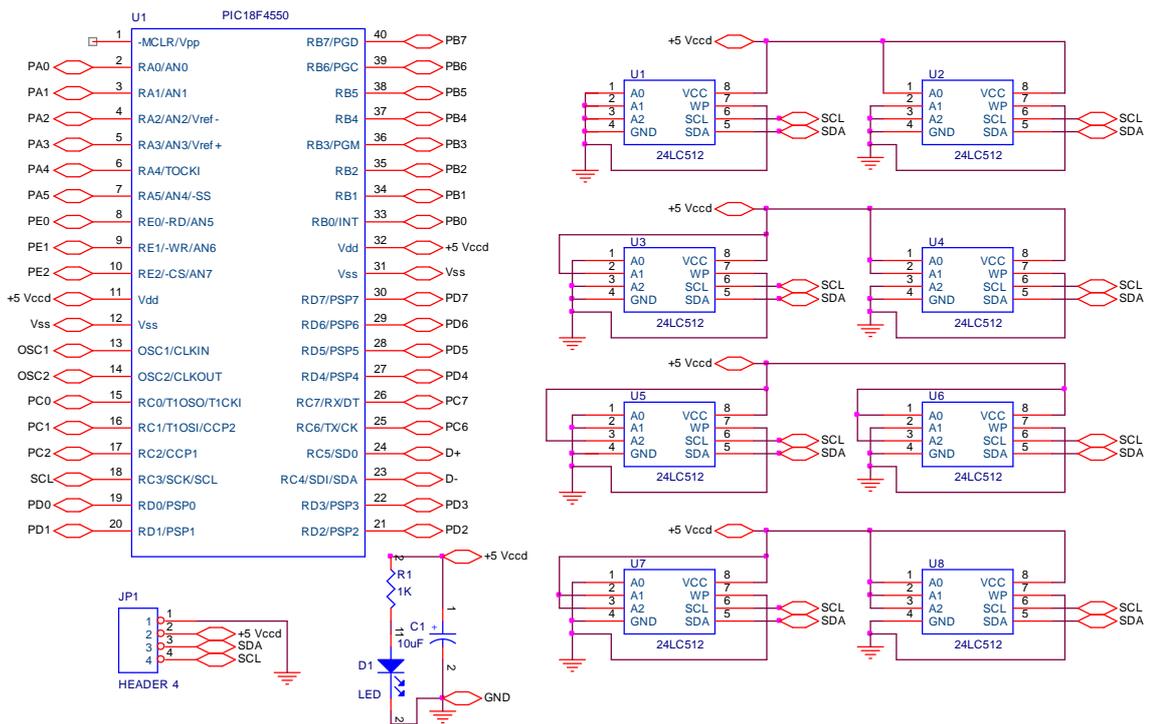


Figura 2.9.- Comunicación PIC - Memorias

## 2.4 MANIPULACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS DE R.F.

La figura 2.10 muestra las conexiones mínimas que necesita el módulo Xbee PRO para poder ser utilizado. Luego de esto, se debe configurar según el modo de operación adecuado para la aplicación requerida por el usuario.

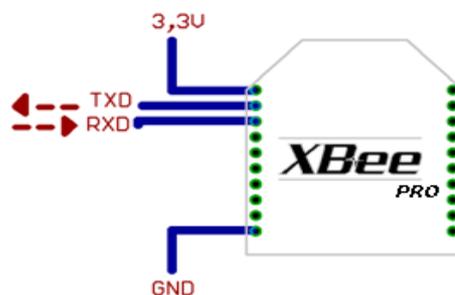


Figura 2.10.- Conexiones mínimas del módulo Xbee

El módulo requiere una alimentación desde 2.8 a 3.4 V, la conexión a tierra y las líneas de transmisión de datos por medio del UART (TXD y RXD) para comunicarse con un microcontrolador, o directamente a un puerto serial utilizando algún convertor adecuado para los niveles de voltaje.

Para la configuración de los módulos XBee PRO es necesario construir una tarjeta donde se pueda comunicar con la PC y esta a su vez permita cambiar cualquier parámetro de acuerdo a las necesidades de comunicación. Véase figura 2.11.

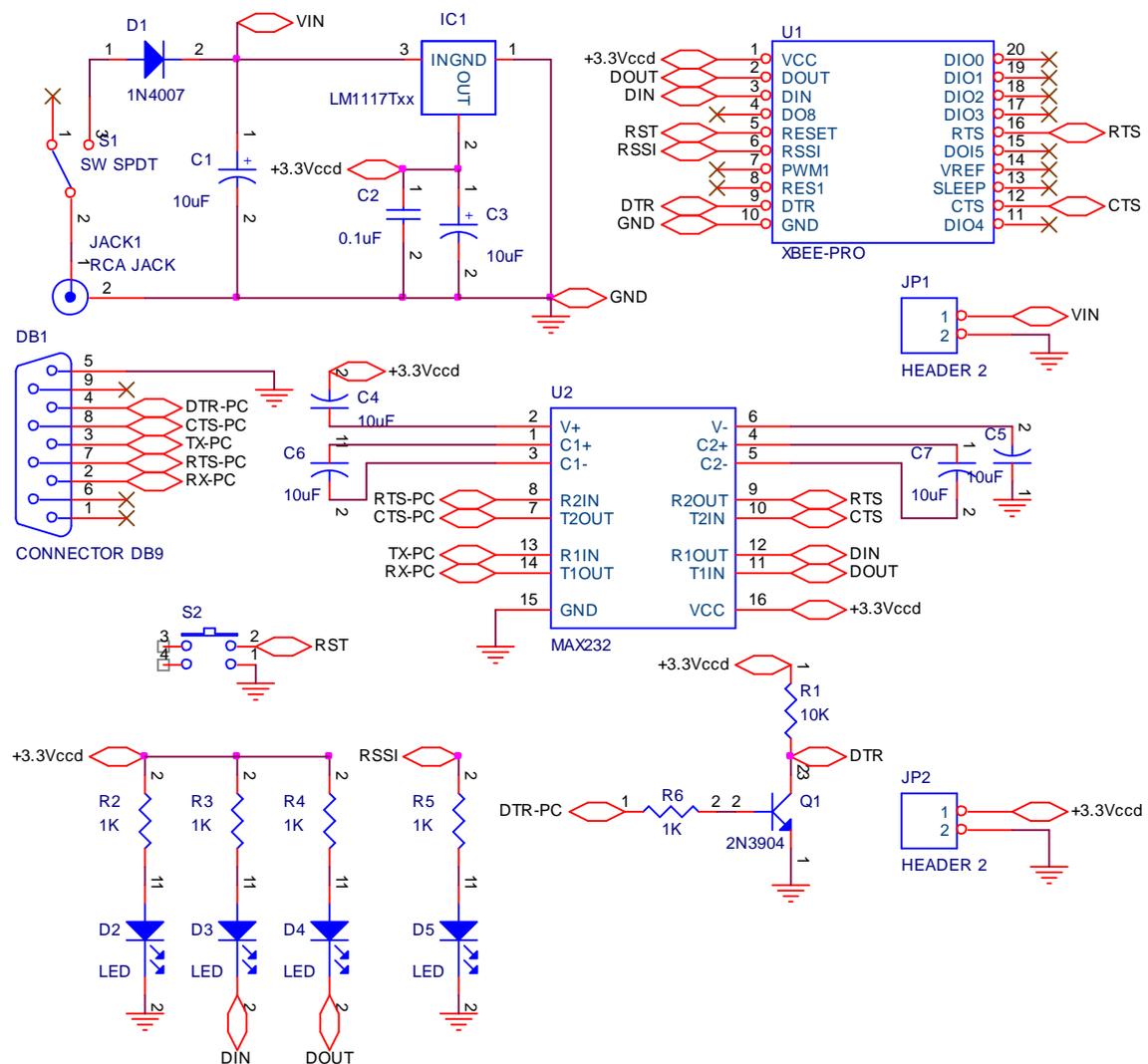
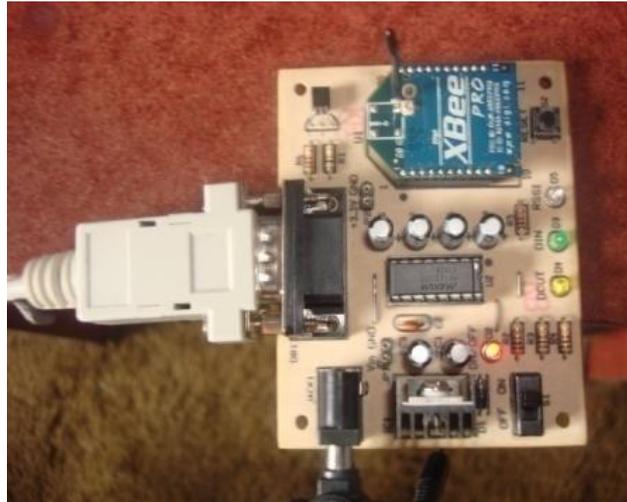


Figura 2.11.- Tarjeta de configuración para el módulo Xbee PRO

Esta tarjeta está construida para configurar los parámetros a través del puerto serial en donde se utiliza un convertor MAX232 para lograr la comunicación

entre el computador y el transceiver de RF. Véase figura 2.12. Este dispositivo transforma las señales digitales de voltajes TTL a valores aceptados por la interfaz RS-232. Se utiliza además el conector serial DB9, también tiene un acondicionador de voltaje a 3.3Vcc para la alimentación del módulo Xbee.

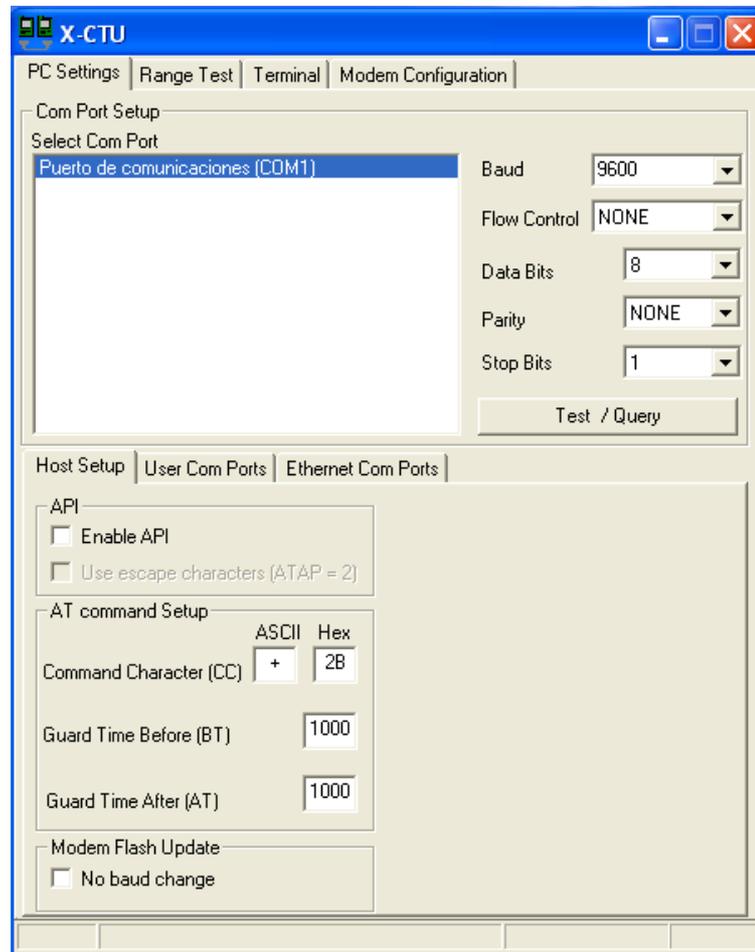


*Figura 2.12.- Tarjeta de configuración de módulos Xbee PRO*

#### **2.4.1 Configuración del módulo Xbee PRO**

La configuración de los módulos se puede realizar de dos formas como es a través del Hyperterminal o utilizando un programa denominado X-CTU.

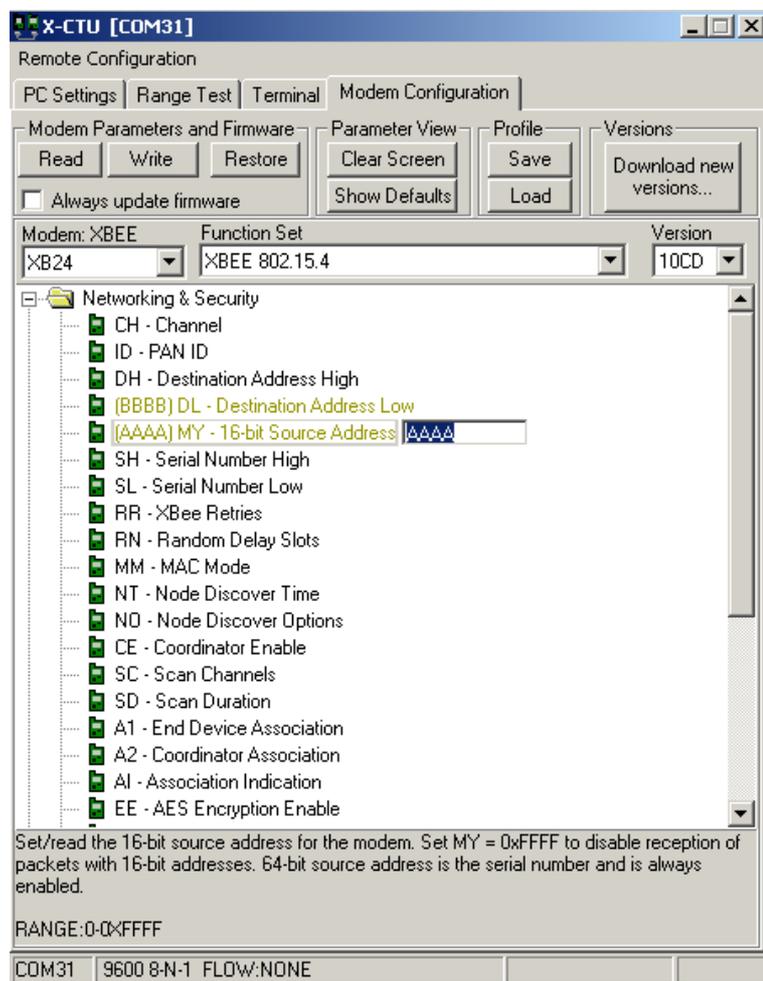
La ventaja de usar este programa X-CTU, es la sencillez para manejar varios módulos o lo simple que es configurarlos. Véase figura 2.13.



*Figura 2.13.- Programa X-CTU*

Primero se inicializa el programa X-CTU. Luego en la pestaña inicial de PC Settings, se configura la velocidad en nuestro caso a 9600 bps, ninguna paridad y ningún Control de flujo. Para verificar presionar el botón que dice TEST y si la comunicación está bien aparecerá la siguiente ventana con la información del modelo del módem Xbee que se usa y la versión del Firmware.

Ahora para la configuración se ingresa a la pestaña MODEM Configuration. Se modifican cada uno de los parámetros que se desean cambiar. Cuando se cambia uno, aparece en amarillo con el valor nuevo en el mismo nombre. Véase figura 2.14.



*Figura 2.14.- Modem Configuration*

### 2.4.1.1 Configuración Módulo Xbee PRO Maestro

Para configurar el módulo Xbee Pro maestro se direcciona con un valor al comando MY arbitrario que va en un rango desde 0x0 hasta 0xFFFFE porque la configuración es de 16 bits. Véase figura 2.15.

Para el módulo Xbee PRO maestro se ha asignado una dirección al comando MY de “1” que es el valor con el cual sus esclavos deben comunicarse.

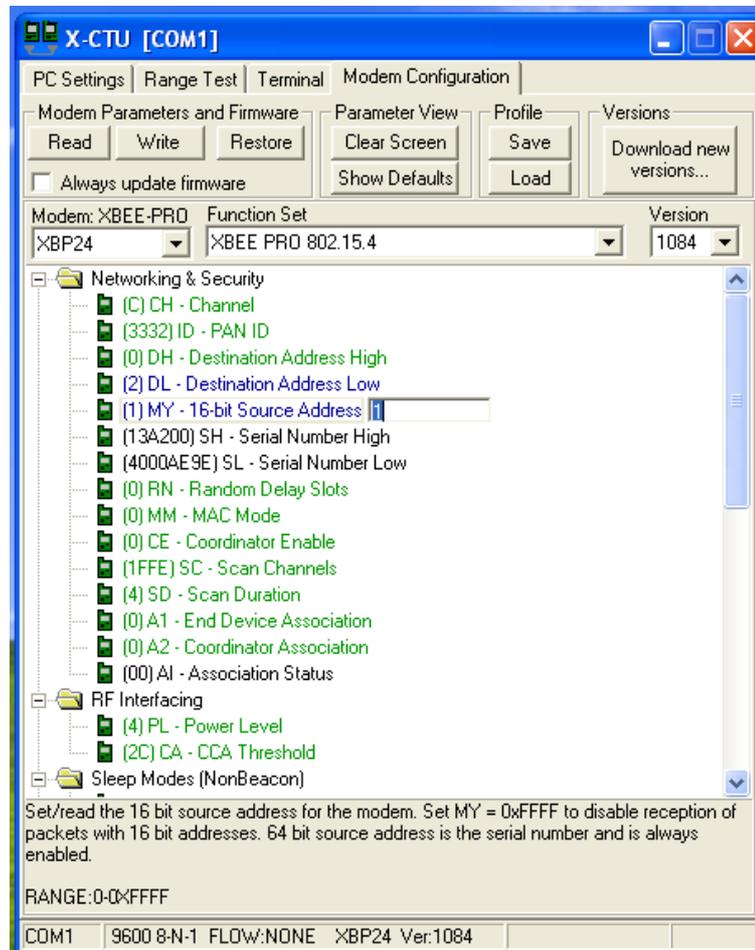


Figura 2.15.- Configuración parámetro MY módulo Xbee PRO maestro

Ahora para configurar los parámetros del destino se realiza con los comandos DL (ATDL – Destination Address Low) y DH (Destination Address High).

Donde su rango de configuración va desde 0x0 hasta 0xFFFFE porque es una configuración de 16 bits.

Al comando DL se le ha asignado el valor “2” en donde su destino tiene este parámetro de configuración asignado. Véase figura 2.16.

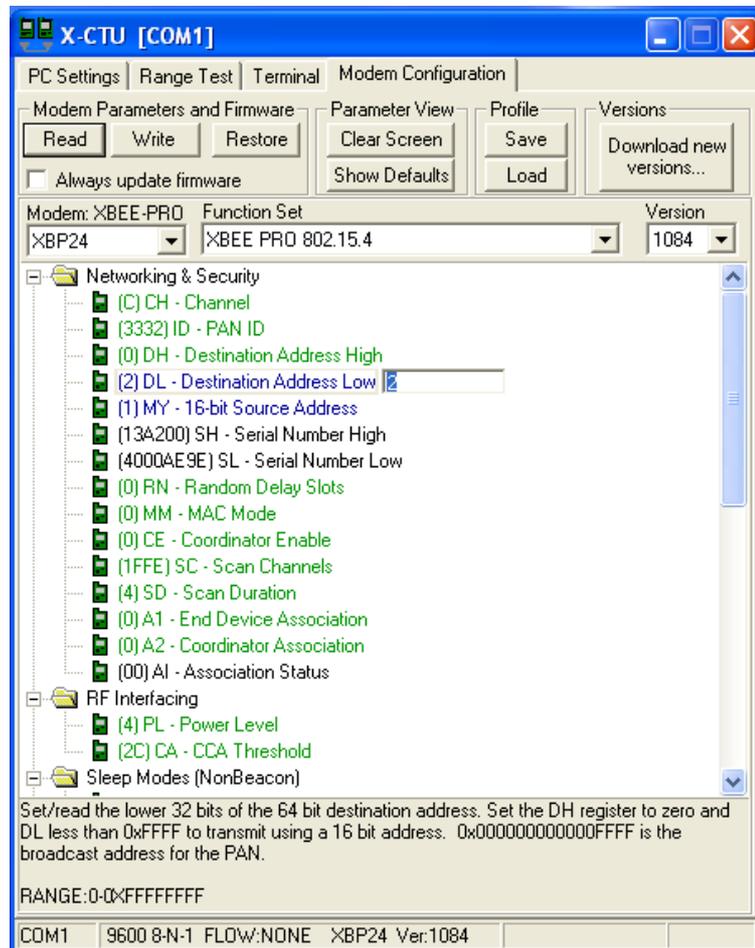
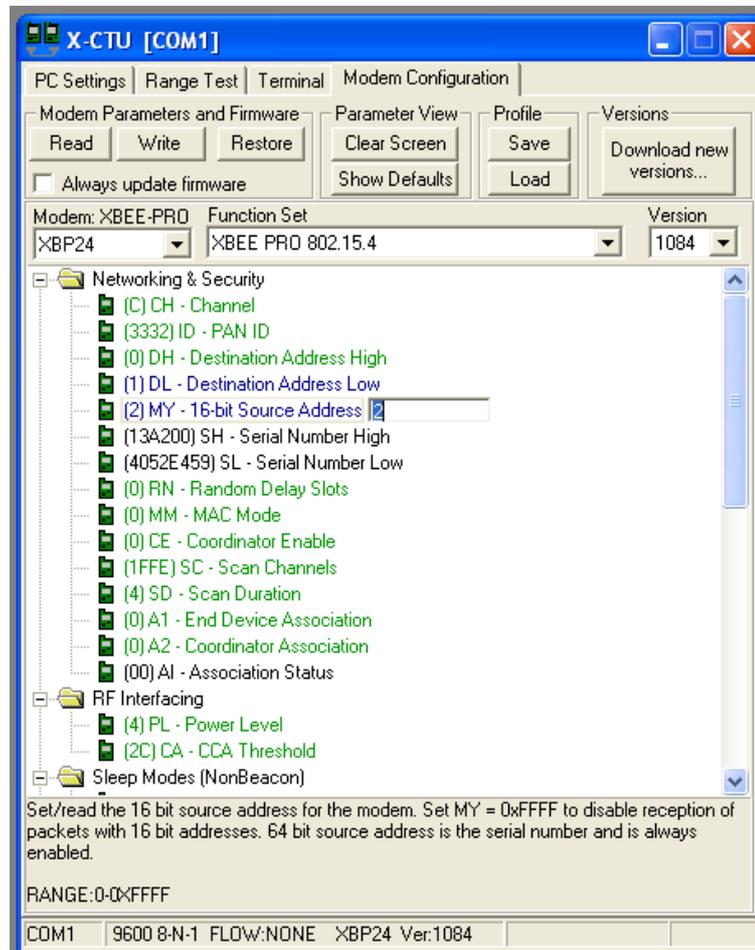


Figura 2.16.- Configuración comando DL módulo Xbee PRO maestro

### 2.4.1.2 Configuración Módulo Xbee PRO Esclavo 1

De manera similar que la configuración del módulo Xbee PRO maestro en los módulos esclavos se va a configurar el comando MY, en este caso ya está dado por el maestro que es MY “2”. Véase figura 2.17.



*Figura 2.17.- Configuración comando MY módulo Xbee PRO esclavo 1*

De manera similar se configura el comando DL en este caso será al destino que es el módulo Xbee PRO maestro.

El comando DL tiene el valor de "1" que es el valor de direccionamiento del módulo maestro. Véase figura 2.18.

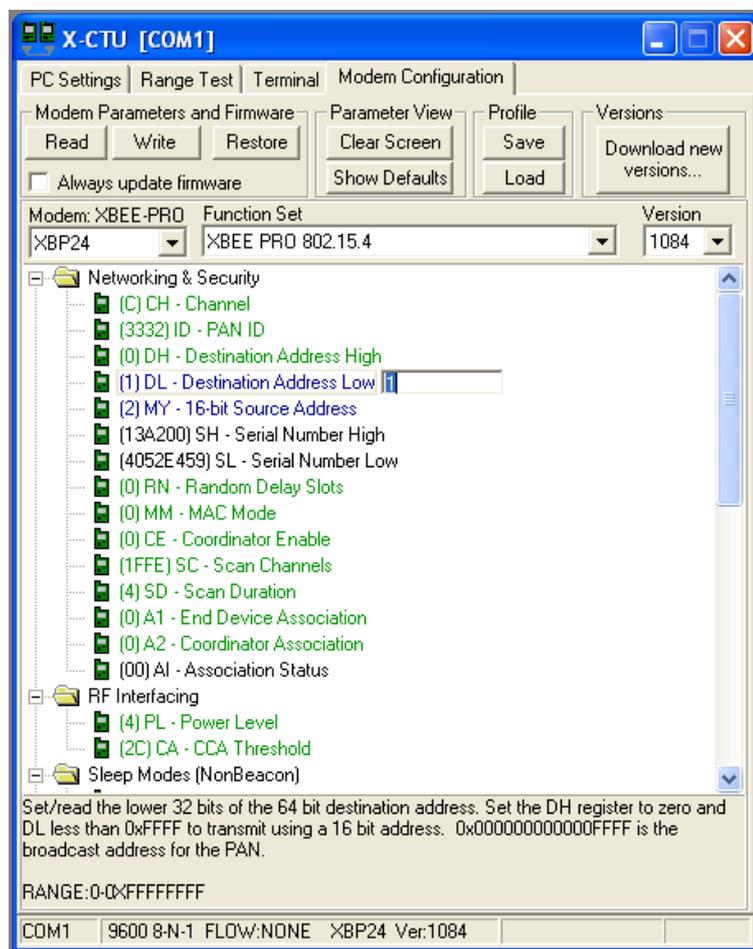


Figura 2.18.- Configuración comando DL módulo Xbee PRO esclavo 1

### 2.4.1.3 Configuración Módulo Xbee PRO Esclavo 2

En la configuración del módulo Xbee PRO esclavo 2 de manera similar que en el módulo Xbee PRO esclavo 1 se configura el comando MY que tiene el valor de "2". Porque este valor esta dado por el módulo Xbee PRO maestro. Véase figura 2.19.

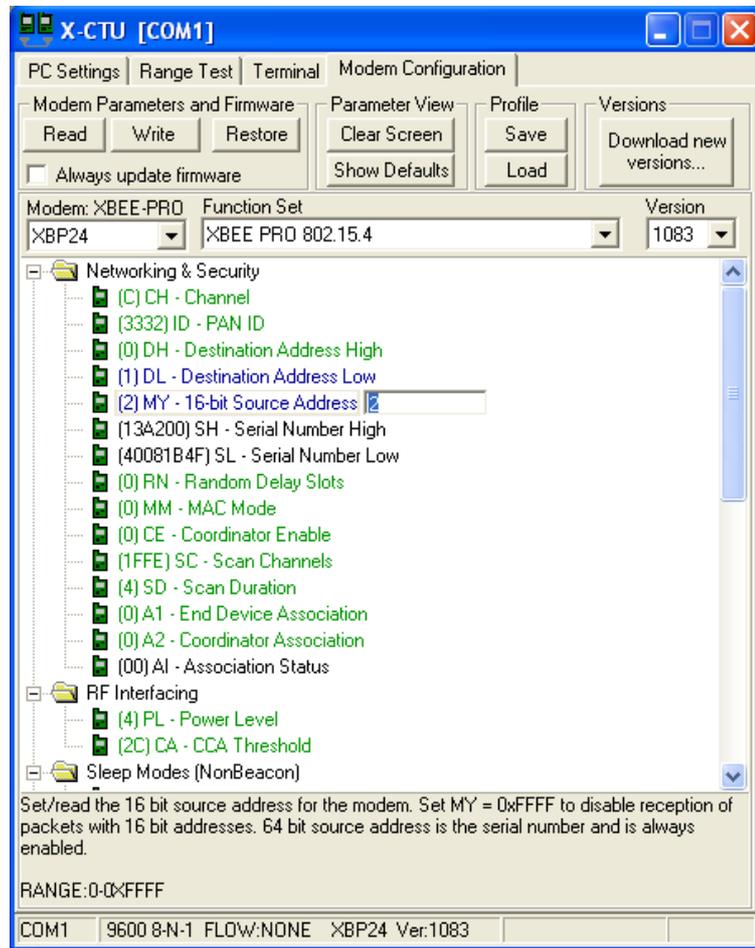


Figura 2.19.- Configuración comando MY módulo Xbee PRO esclavo 2

El comando DL es el destinatario, tiene el valor “1” que es la dirección del módulo Xbee PRO maestro, es la dirección a quien va ha ser enviado los datos de cada uno de los esclavos. Véase figura 2.20.

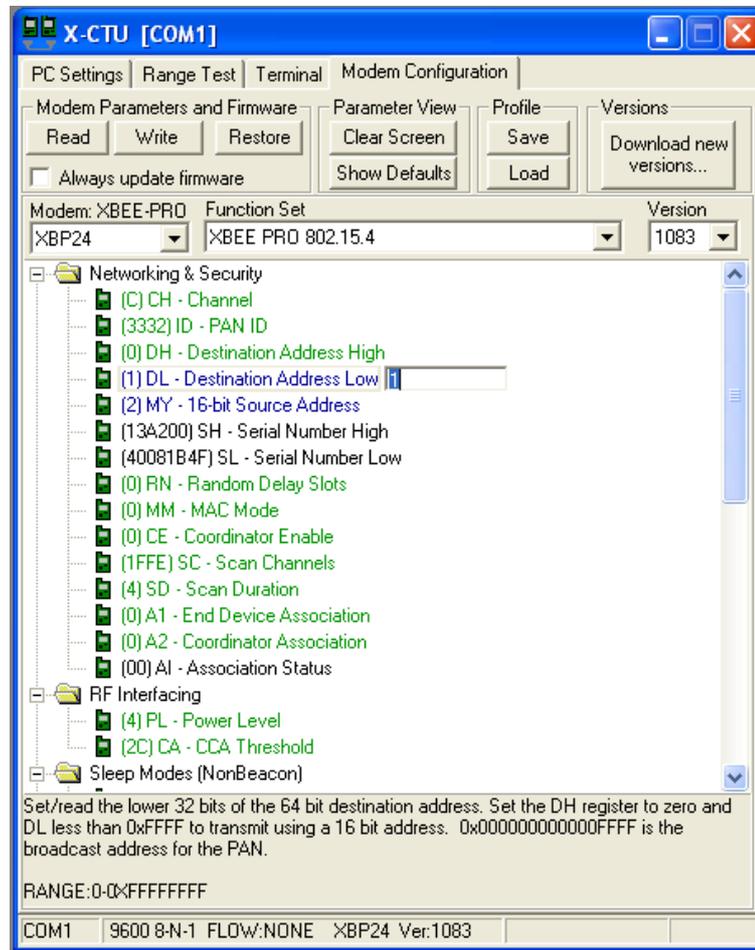
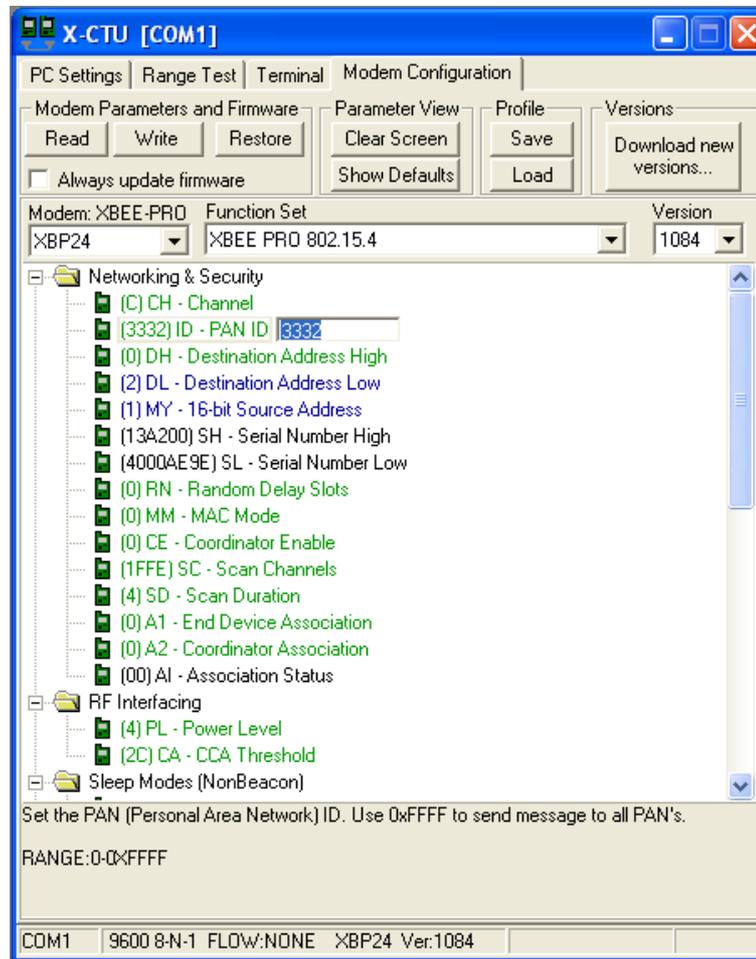


Figura 2.20.- Configuración comando DL módulo Xbee PRO esclavo 2

Un parámetro muy importante para la red es el comando ID – PAN ID que es la red de área personal y esta dado por defecto el valor de 3332. Debido a que la red está en modo de conexión transparente punto a punto y el valor de la PAN ID debe ser el mismo en toda la red para que funcione. Véase figura 2.21.



*Figura 2.21.- Comando PAN ID*

Otro parámetro importante es aquel que se encuentra dada por los comandos SH y SL (número de serie)

Son comandos dados por defecto de fábrica y cada módulo tiene un número de serie único, así se puede observar en cada módulo el comando SL, teniendo para el módulo Xbee PRO maestro un SL de 4000AE9E, un SL de 4052E459 para el módulo Xbee PRO esclavo 1, un SL de 40081B4F para el módulo Xbee PRO esclavo 2. Como se muestran en las figuras 2.15, 2.17, 2.19 respectivamente. Esto es muy importante para configuraciones de altas prestaciones como por ejemplo si necesitamos realizar una red Malla.

Después de configurar todos los parámetros se envía a grabar a través del botón Write y cada módulo está configurado de acuerdo a nuestros requerimientos.

## 2.5 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

El siguiente código está diseñado para el microcontrolador PIC18F4550 y su principal función es permitir la comunicación vía serie con la red Zigbee, comunicación vía USB con la PC personal, recepción de información de un teclado, recepción de datos de señales analógicas y digitales, controlar el almacenamiento de datos en las memorias a través de la comunicación I2C y controlar una alarma. En este apartado se encuentra la declaración de todas las variables a utilizar. Toda la programación se encuentra en el anexo B

```
*****
'* Name      : DATA LOGGER                               *
'* Author    : [select VIEW...EDITOR OPTIONS]            *
'* Notice    : Copyright (c) 2009 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'*           : All Rights Reserved                       *
'* Date      : 24/01/2010                                 *
'* Version   : 1.0                                       *
'* Notes     :                                           *
'*           :                                           *
*****
DEFINE OSC 48
'DEFINICIONES INICIALES PARA CONFIGURAR EL HARDWARE DEL LCD*****
' Define el pórtico de Datos
DEFINE LCD_DREG PORTB
' Define el Bit de inicio de los Datos (0 or 4) si el bus es de 4-bit
DEFINE LCD_DBIT 4
EEPROM 1,[3,3,4,4,5,5,1,1,1] 'memoria 1 con el valor inicial CONTAR=0
'READ 1,dir.lowbyte          'carga el valor de la memoria EEPROM
dirección 1 en CONTAR
'READ 2,dir.highbyte        'carga el valor de la memoria EEPROM
dirección 1 en CONTAR
INTCON = %11000000          ' Habilita Interrupciones, general y
periféricos
ON INTERRUPT GoTo serialin  ' Declara manejador de la interrupción
PIE1.5 = 1
'DEFINICIONES INICIALES PARA CONFIGURAR EL TECLADO *****
F1 VAR PORTD.4              'nombres para los pines de las filas
F2 VAR PORTD.5
F3 VAR PORTD.6
```

```

F4  VAR PORTD.7
C1  VAR PORTD.0      'nombres para los pines de las columnas
C2  VAR PORTD.1
C3  VAR PORTD.2
C4  VAR PORTD.3

'DEFINICIONES DEL CAD ****
DEFINE ADC_CLOCK 3  'Inicializar reloj para Conversión Análoga Digital
DEFINE ADC_BITS 10      'Numero de Bits de resultado ADC
DEFINE ADC_SAMPLEUS 50  'Muestreo ADC en uSeg.
ADCON1=%00001010      '5 entradas Analógicas resto digitales
ADCON2=%10000011      ' JUSTIFICACIÓN DERECHA FRC, 0 TAD

'DEFINICIONES DEL DS18B20 ****
Comm_Pin    VAR    PortC.2      ' One-wire Data-Pin "DQ" on PortC.2
Busy        VAR BIT              ' Busy Status-Bit
R_Temp      VAR    WORD          ' RAW Temperature readings
TempC       VAR WORD            ' Temp in deg C

'DEFINICIONES DE LA ALARMA ****
Alarma      VAR    Porte.2
USBBufferSizeMax  con 8  ' maximum buffer size
USBBufferSizeTX  con 8  ' input
USBBufferSizeRX  con 8  ' output

**** DEFINICIONES INICIALES PARA CONFIGURAR EL I2C *****
DEFINE I2C_SLOW 1
CPIN  Var PortE.0      'pin señal de reloj I2C
DPIN  Var PortE.1      'pin de datos I2C
segu   var byte        'variable para los segundos
minu   var byte        'variable para los minutos
hora   var byte        'variable para las horas
diaS   var byte        'variable día de la semana
diaF   var byte        'variable día fecha del mes
mes    var byte        'variable mes
anio   var byte        'variable año de 2 dígitos
TempoD var byte
TempoU var byte
Tempo  var byte
Pos    VAR BYTE        'variable para Posicion del cursor

**** DEFINICIONES COMUNICACION SERIAL *****
DEFINE HSER_RCSTA 90h
DEFINE HSER_TXSTA 20h
DEFINE HSER_BAUD 9600
DEFINE HSER_CLROERR 1

```

```

BAUDCON.3=0
' the USB buffer...
USBBuffer      Var Byte[USBBufferSizeMax]
USBBufferCount Var Byte
d              VAR BYTE
e              VAR BYTE
v              VAR BYTE
w              VAR BYTE
x              VAR BYTE
y              VAR BYTE
z              VAR BYTE
g              VAR WORD
z1            VAR WORD
Tecla         VAR BYTE
CLAVE         VAR BYTE [4]
ADC_1         VAR word   ' VALOR del ADC0
ADC_2         VAR word   ' VALOR del ADC1
ADC_3         VAR word   ' VALOR del ADC2
ADC_4         VAR word   ' VALOR del ADC3
ADC_5         VAR word   ' VALOR del ADC4
TRISA=%00111111
TRISB=%00000000
TRISC=%10000000
TRISD=%00001111
TRISE=%00000000
ADCON1=%00001010

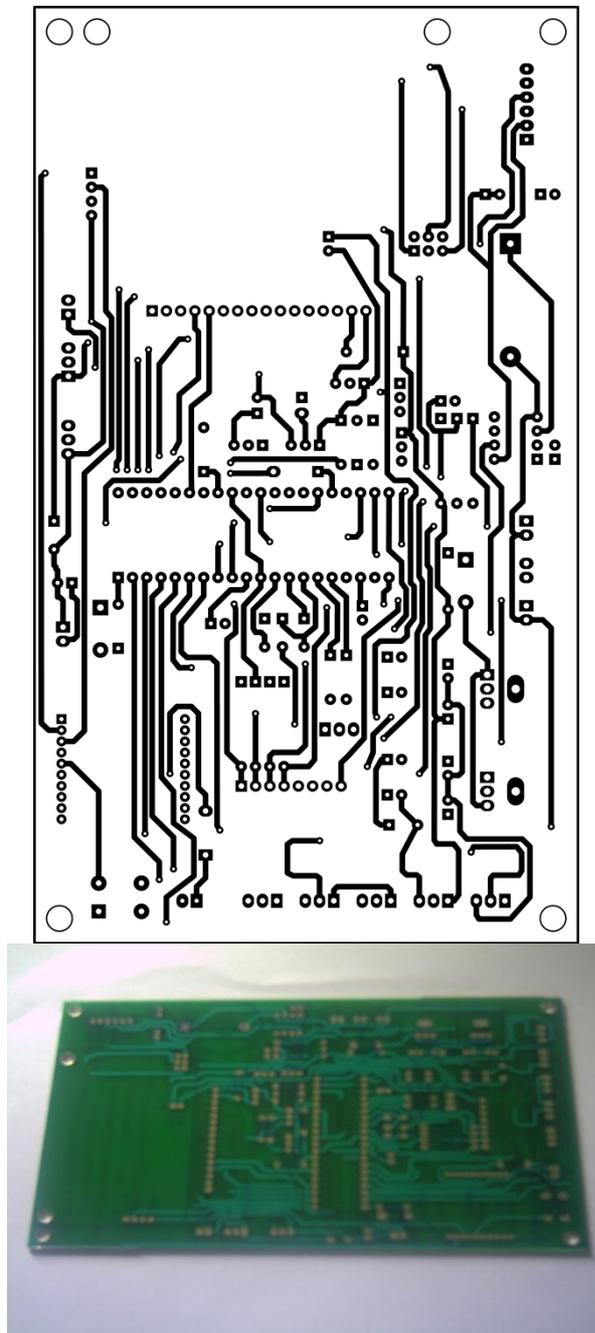
```

## 2.6 CONSTRUCCIÓN DE PLACAS Y ENSAMBLAJE DEL DATA LOGGER

Para la construcción de cada una de las placas se ha tomado en cuenta los siguientes detalles:

### 2.6.1 Construcción de la placa principal del Data Logger

Para la construcción de la placa principal de ha tomado en cuenta todos los elementos necesarios, para luego hacer un diseño de las pistas, la cual se realizo en el utilitario de ORCAD denominado Layout, como se muestra en la figura 2.22.



*Figura 2.22.- Diseño de las pistas de la placa principal*

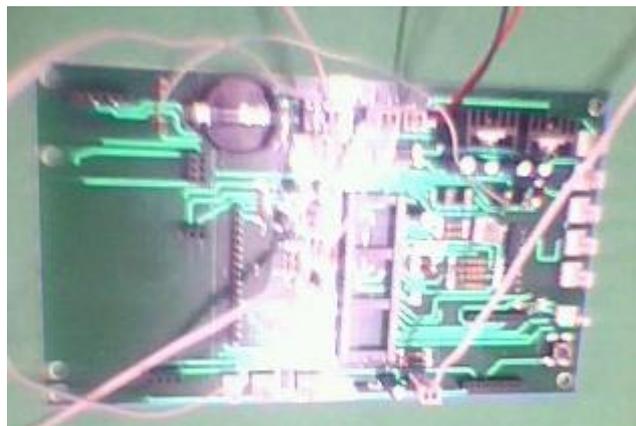
Dada la construcción de las pistas en la placa se procede al montaje de cada uno de los elementos como: microcontrolador, LCD, módulo ZigBee, resistencias, condensadores, transistores, etc., como se muestra en las figuras 2.23, 2.24, 2.25 y 2.26.



*Figura 2.23.- Elementos*



*Figura 2.24.- Montaje de elementos*



*Figura 2.25.- Montaje y prueba de elementos*

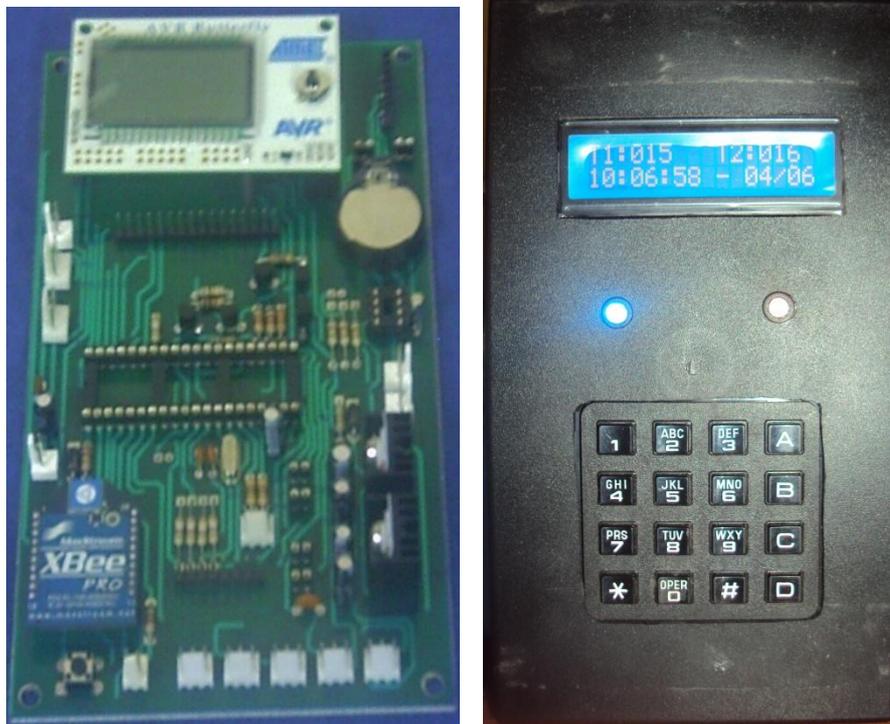


Figura 2.26.- Montaje total

### 2.6.2.- Construcción de la placa para las memorias

En la construcción de la placa para las memorias se debe tener en cuenta el número de memorias que se va a utilizar y en qué orden van a estar distribuidas cada memoria. Véase figura 2.27.

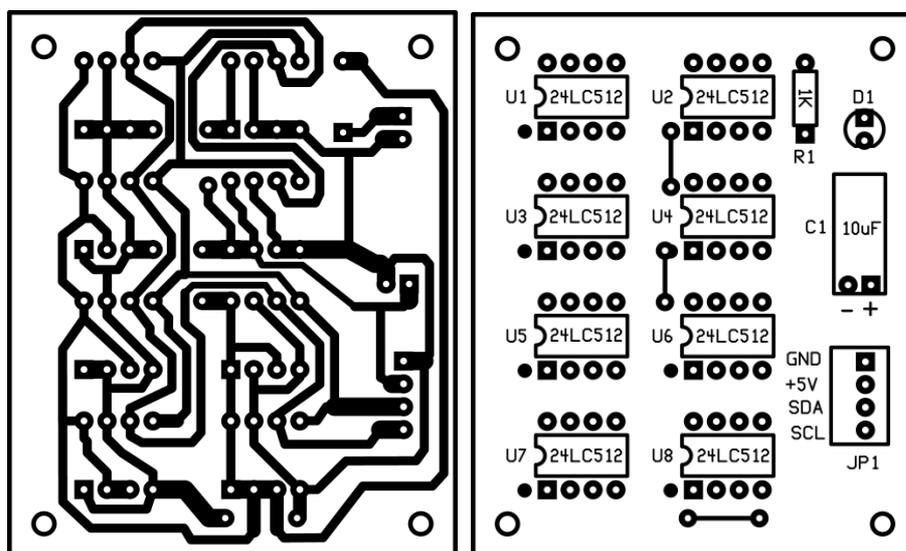


Figura 2.27.- Construcción y montaje de la placa para las memorias

### 2.6.3 Construcción de la placa para la configuración del Módulo ZigBee PRO

Esta placa está construida para realizar todas las configuraciones de cada uno de los módulos Xbee PRO, además tiene led's indicadores para la conexión, transmisión y recepción de datos, tiene también todas las protecciones necesarias si existe voltajes variantes para que no se dañe el módulo Xbee PRO. Véase figura 2.28.

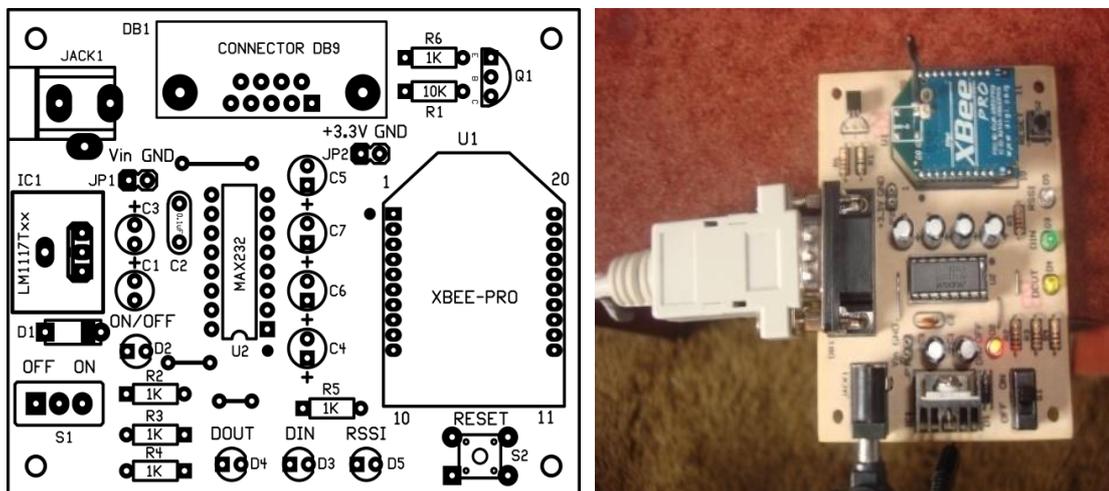


Figura 2.28.- Placa para la configuración del módulo Zigbee PRO

### 2.7 DISEÑO DE LA INTERFAZ GRAFICA PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

La interfaz gráfica está creada en el programa Visual Basic de una forma sencilla que le permite al usuario bajar datos y almacenarlos en un formato txt, posteriormente estos datos pueden ser manipulados de acuerdo a los requerimientos de cada uno de los usuarios.

Este software permite bajar datos de cada uno de los Data Logger, tanto datos almacenados en el Data Logger maestro como el de sus respectivos esclavos. Véase figura 2.29.



Figura 2.29.- Interfaz gráfica

## GRUPOS DE BOTONES

Permite acceder de forma sencilla a la descarga de los datos almacenados en las memorias de los Data Logger

### ® Descargar datos Maestro

Permite bajar los datos almacenados en las memorias y guardarlos en un archivo llamado DatosM con extensión txt. Estos datos bajados están distribuidos de la siguiente manera; primero todos los datos correspondientes al maestro y después todos los datos adquiridos de los esclavos.

### ® Descargar datos Esclavos

Este botón permite bajar datos de cada uno de los esclavos y almacenarlos en otro archivo formato txt denominado DatosE.

Ⓜ **Reset contador memorias**

Este botón resetea al contador de cada una de las memorias ubicándole en la parte inicial para que nuevamente empiece almacenar desde el inicio de cada memoria.

Ⓜ **Salir modo USB**

Este botón sale del modo USB permitiéndole al Data Logger que continúe trabajando en su almacenamiento y recepción de datos.

Ⓜ **Salir**

Permite salir de todo el programa

Ⓜ **Datos adquiridos txt.**

Permite visualizar los datos adquiridos y guardados en la carpeta del programa en una forma dinámica. Véase figuras 2.30 y 2.31

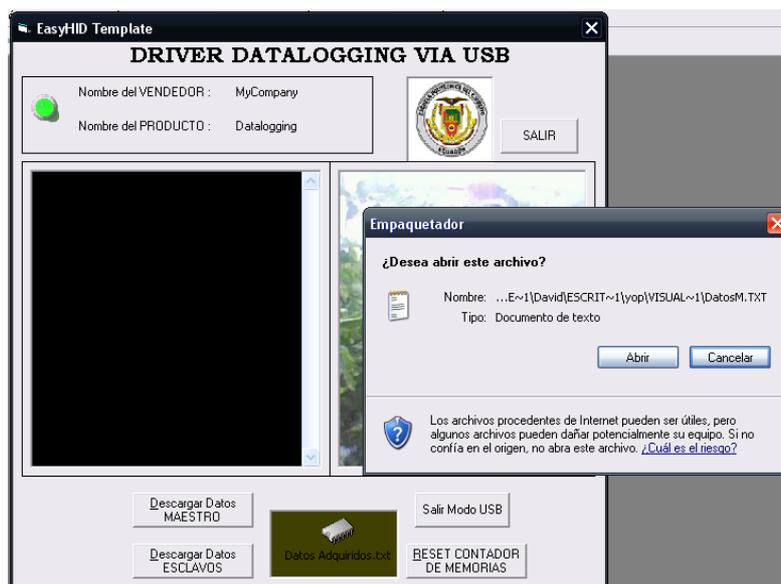


Figura 2.30.- Abriendo el archivo de los datos

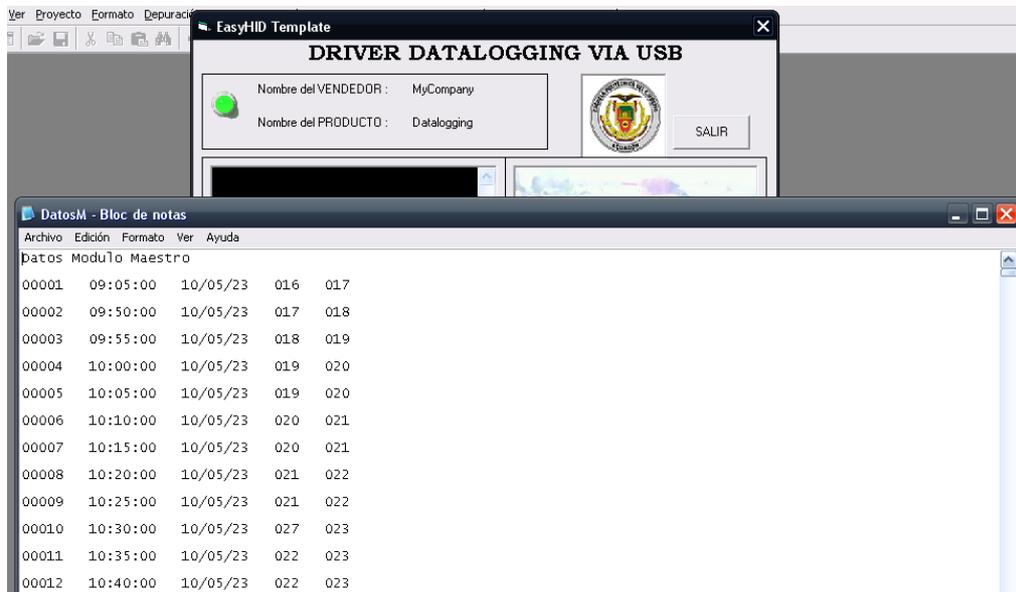


Figura 2.31.- Visualización de los datos adquiridos

## 2.8 ACOPLAMIENTO DEL SISTEMA TOTAL

En la figura 2.32 se realiza un esquema del acoplamiento total con sus respectivos módulos y elementos utilizados.

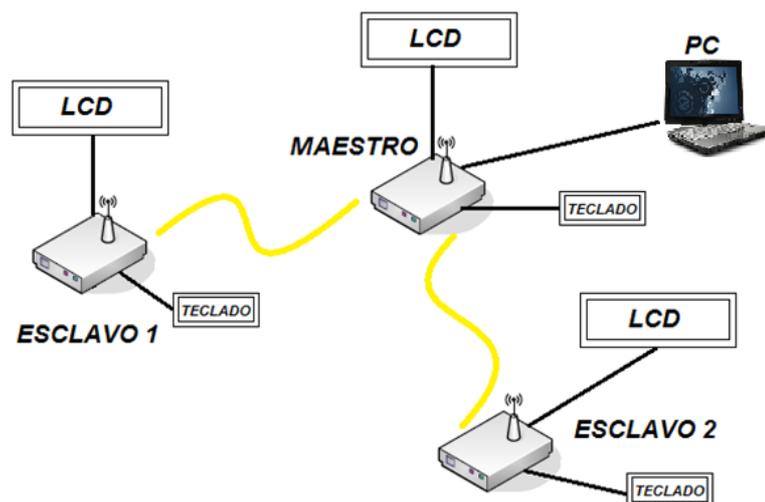


Figura 2.32.- Esquema del acoplamiento total

En la figura 2.33, se puede observar el montaje en el invernadero, donde cada módulo esclavo se encuentra a una distancia de 50 m., con relación a su Data Logger maestro, dando así la aplicación a una de sus utilidades como es de

recolectar datos de temperatura de sus respectivos sensores instalados en cada Data Logger.



*Figura 2.33.- Acoplamiento total del sistema en el invernadero*

El acoplamiento total de nuestros módulos con sus pruebas respectivas de almacenamiento se observa en la figura 2.34, en donde cada módulo está en funcionamiento, tomando muestras con los sensores y el módulo maestro conectado al PC portátil, listo para ser bajados los datos almacenados.



*Figura 2.34.- Acoplamiento total del sistema*

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

#### 3.1 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE PRO.

Las pruebas de comunicación de cada módulo se las realizó a través del programa X-CTU como se muestra en la figura 3.1.



The screenshot shows the X-CTU software interface with the following content:

```
X-CTU [COM1]
PC Settings | Range Test | Terminal | Modem Configuration
Line Status: CTS CD DSR
Assert: DTR [checked] RTS [checked] Break [unchecked]
Close Com Port Assemble Packet Clear Screen Hide Hex

atmy
at
+++OK
at
OK
atmy
1
atid
3 3 3 2
atid
at
+++
atid
3 3 3 2
atmy
1
atsl
4000AE9E
atsh
13A200

COM1 9600 8-N-1 FLOW:NONE Rx: 83 bytes
```

Figura 3.1.- Comunicación del módulo Xbee Pro maestro

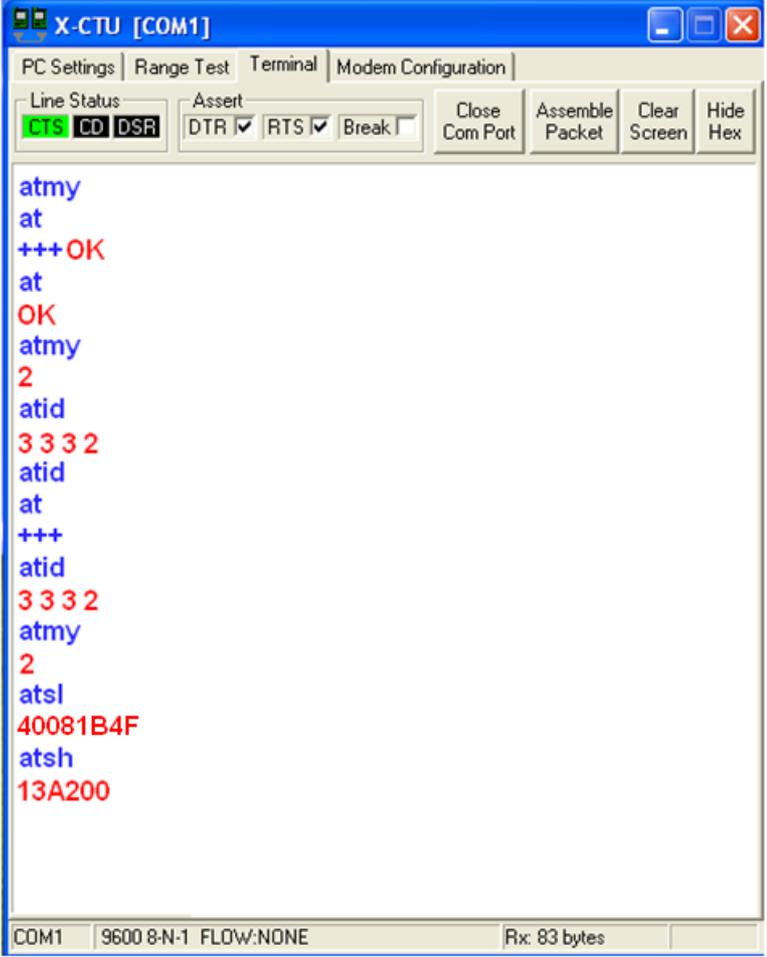
En el módulo Xbee maestro se realizó la comunicación para observar si está listo para recibir los datos en la red en donde las letras en color azul indican lo que se escribe por el módem como paquete RF al módem de destino. Sólo cuando se ingresa +++ se ingresa en el modo de comandos, apareciendo un OK en rojo como respuesta. Se pregunta luego por la dirección del actual módulo usando ATMY, donde se entrega como respuesta un 1, es decir, la dirección es 0x0001. Luego se pregunta por el PAN ID, donde la respuesta es 3332, es decir, la dirección es 0x3332. Si pasa un tiempo sin escribir nada, el módem por si sólo se sale del modo de comandos. Al final se pregunta por el número serial del módulo, donde SL=0x4000AE9E y SH=0x0013A200.

En las figuras 3.2 y 3.3, la comunicación hace referencia a un destino 2 que es el destino de los esclavos 1 y 2, pero si observamos su número de serie es diferente en cada módulo porque este número esta dado de fabrica y es único en cada módulo.



Figura 3.2.- Comunicación del módulo Xbee PRO esclavo 1

También se puede observar que el ID-PAN (Red de Área personal) es similar en todos nuestros módulos debido a que la comunicación es punto a punto y la dirección debe ser igual para todos los módulos en este caso es 3332 que está dado por defecto.



```
X-CTU [COM1]
PC Settings | Range Test | Terminal | Modem Configuration
Line Status: CTS | CD | DSR
Assert: DTR [checked] | RTS [checked] | Break [unchecked]
Close Com Port | Assemble Packet | Clear Screen | Hide Hex

atmy
at
+++OK
at
OK
atmy
2
atid
3 3 3 2
atid
at
+++
atid
3 3 3 2
atmy
2
atsl
40081B4F
atsh
13A200

COM1 | 9600 8-N-1 FLOW:NONE | Rx: 83 bytes
```

*Figura 3.3.- Comunicación del módulo Xbee PRO esclavo 2*

Luego de realizar cada una de las pruebas de comunicación individual se acopla los módulos como se muestra en la figura 3.4. Para obtener los datos enviados por nuestros módulos Xbee Pro esclavos a nuestro módulo Xbee PRO maestro.



Figura 3.4.- Enlace de los módulos

A continuación se describe la forma de envío de los datos de cada uno de los esclavos al maestro en la que cada esclavo envía una trama de 4 bytes de información al módulo maestro, en donde 2 bytes corresponden a la información y 2 bytes corresponden a los bits de inicio de los datos a ser presentado como se observa en las figuras 3.5 y 3.6.



Figura 3.5.- Trama de datos esclavo 1



Figura 3.6.- Trama de datos esclavo 2

La trama de datos que se envía tiene un byte de inicialización antes de cada dato de temperatura enviado al Data Logger maestro.

En los datos enviados por el esclavo 1 se envía una letra "A" y después el dato de temperatura del sensor LM35, posteriormente se envía otro byte con la letra "B" y después el dato de temperatura del sensor digital.

Para los datos del esclavo 2 se envía una letra "C" y consecutivamente el dato de temperatura del sensor analógico y a continuación se envía una letra "D" y el dato de temperatura del sensor digital.

Utilizando el programa X-CTU se puede notar en la figura 3.7 cómo están llegando los datos al módulo Xbee PRO maestro, así se observa en la parte izquierda todos los datos con sus respectivas letras A, B, C, D que son los bytes de inicialización antes de que llegue cada dato que está representado por un punto.

Se activa el botón "Hide Hex" que permite indicar los datos en forma hexadecimal.



Figura 3.7.- Datos recibidos por el módulo Xbee PRO maestro

Antes de cada valor se puede observar el valor del byte de inicio que están representadas por la “A” que corresponde a 41 en hexadecimal y 65 en decimal, la letra “B” que corresponde a 42 en hexadecimal y 66 en decimal, la letra “C” que corresponde a 43 en hexadecimal y 67 en decimal y la letra “D” que corresponde a 44 en hexadecimal y 68 en decimal.

Teniendo así el valor de temperatura de cada sensor como se indica en la parte inicial el valor 16 en hexadecimal que corresponde a 22 grados en decimal y pertenece al sensor analógico LM35, para el otro sensor digital se tiene 15 en hexadecimal que corresponde a 21 grados en decimal, datos obtenidos de cada uno de los módulos esclavos enviados a su respectivo módulo maestro.

### 3.2 PRUEBAS DE ALMACENAMIENTO DE DATOS EN LA MEMORIA

Para las pruebas de almacenamiento de los datos en las memorias, primero se estableció el rango de acopio de cada memoria para lo cual se realizó diferentes pruebas una de ellas identificar el tamaño de la trama a ser guardada y la capacidad de almacenamiento de cada memoria, en este caso se efectuó los diferentes cálculos ya que las memorias almacenan 65536 bytes y la trama a ser almacenada por dato es de 8 bytes, como se observa en la figura 3.8 y se puede identificar que cada memoria almacena 8192 tramas en cada memoria.

```
:100000000005012060510191900551206051019198D
:10001000000013060510181900051306051019191C
:100020000010130605101A1A0015130605101B1BE5
:100030000020130605101C1B0025130605101D1CAF
:100040000030130605101C1C0035130605101B1A82
:100050000040130605101A1A0045130605101D1C52
:100060000050130605101F1D0055130605101E1C19
:100070000000140605101E1C0005140605101E1DA8
:100080000010140605101E1D0015140605101F1D76
:100090000020140605101E1D0025140605101E1D47
:1000A0000030140605101E1D0035140605101A1A1E
:1000B00000401406051019190045140605101919F9
:1000C00000501406051018190055140605101818CC
```

*Figura 3.8.- Trama de almacenamiento de las memorias*

Como se diferencia en la figura 3.9 cada dato almacenado en la memoria tiene su respectiva hora, fecha y los datos de temperatura de cada sensor

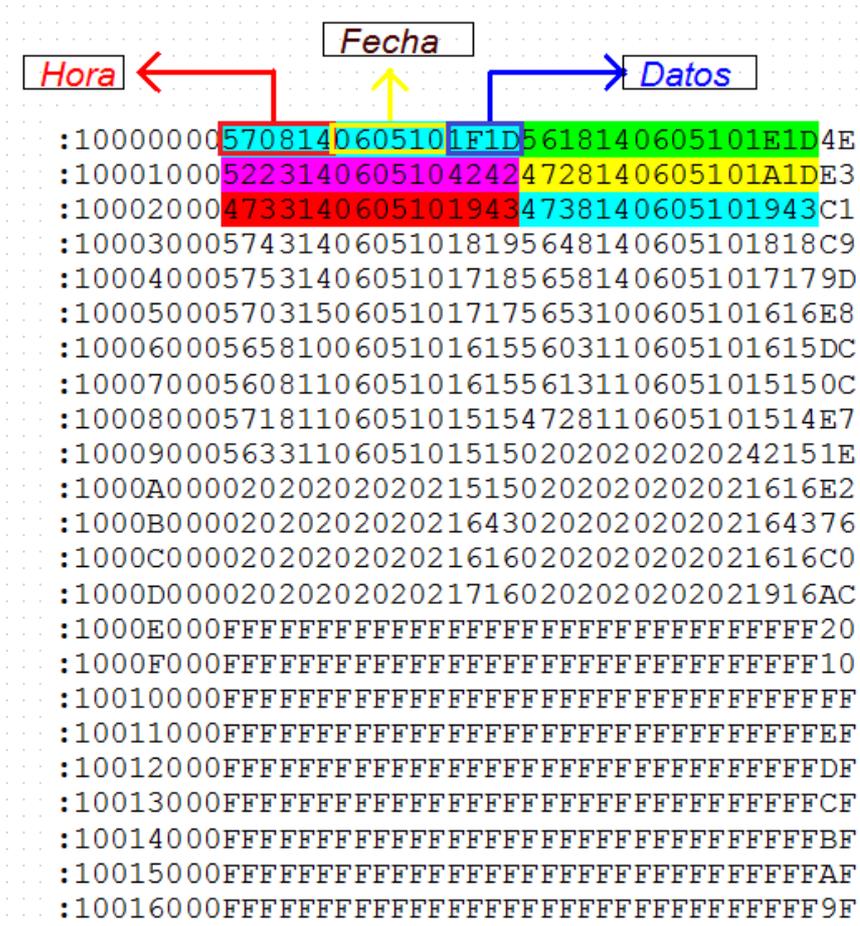


Figura 3.9.- Trama de datos

Como se distingue en la trama de la figura 3.9, primero se almacena los segundos, minutos y la hora, posteriormente se tiene la fecha en el orden de día, mes, año y finalmente los datos de temperatura en hexadecimal, como se observa en la tabla 3.1.

Tabla 3.1.- Datos almacenados en la memoria

Datos almacenados en cada Memoria			
Hora	Fecha	Sen. LM35	Sen. Digital
14:08:57	06/05/2010	1F (31)	1D (29)
14:18:56	06/05/2010	1E (30)	1D (29)
14:23:52	06/05/2010	42 (66)	42 (66)
14:28:47	06/05/2010	1A (26)	1D (29)
14:33:47	06/05/2010	19 (25)	43 (67)
14:38:47	06/05/2010	19 (25)	43 (67)

Esta forma de almacenamiento se realiza en todas las 8 memorias de cada Data Logger siguiendo el orden descrito anteriormente, también se puede observar que si aun no ha sido utilizado el espacio de las memorias este espacio se encuentra ocupado con la letra "F".

Ahora para el Data Logger maestro se ha dividido el espacio de memoria en tres partes: las cuatro primeras memorias le corresponde a los datos propios del módulo, las otras dos memorias le corresponde a los datos enviados por el esclavo 1, finalmente las dos últimas memorias le corresponde a los datos enviados por el esclavo 2.

Teniendo así, 16384 tramas que almacena cada parte del maestro para sus esclavos correspondiendo a 57 días aproximadamente, porque los datos almacenados se los realiza cada 5 minutos teniendo un total de 288 tramas de datos diarios. Para el espacio de memoria del maestro le corresponde 32768 tramas de datos que pertenecen a 114 días aproximadamente. Finalmente cada esclavo almacena 65536 tramas de datos que corresponde a 228 días aproximadamente.

### **3.3 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DEL DATA LOGGER CON LA PC Y ALMACENAMIENTO DE DATOS.**

Para obtener todos los datos almacenados en las memorias el módulo maestro se conecta a la PC, presionando la tecla "D" el Data Logger ingresa al modo USB donde los datos almacenados en las memorias son bajados a través de la interfaz gráfica realizada en Visual Basic como se muestra en la figura 3.10.



Figura 3.10.- Modo de espera para bajar los datos

Los datos bajados tienen una extensión txt. Como se muestra en la figura 3.11

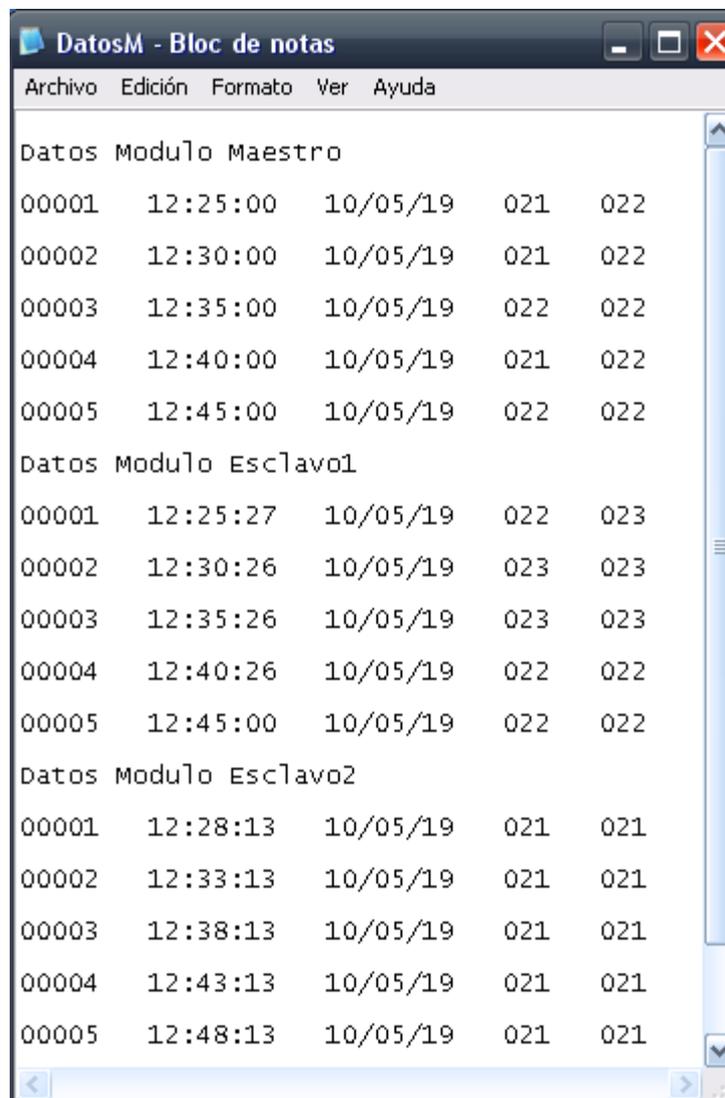


Figura 3.11.- Datos con extensión txt.

Se puede observar que los datos guardados tiene un orden, primero los datos del módulo maestro después se encuentran los datos recibidos tanto del esclavo 1 y después del esclavo 2.

También se puede observar que tienen un orden con su respectivo número de datos, hora, fecha y el valor de las temperaturas de cada uno de los sensores de cada módulo, pudiendo estos datos ser manipulados de acuerdo a nuestras necesidades utilizando cualquier programa que nos permita observar los datos de mejor manera.

### 3.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL DATA LOGGER MAESTRO

Este análisis se realiza de acuerdo a los datos recolectados del invernadero de tomates riñones, en donde los datos recolectados se ha graficado y dividido en tres partes, datos recolectados en la mañana, tarde y en la noche.

Los datos recolectados en la mañana de cada módulo se puede observar en las figuras 3.12, 3.13, 3.14 y en las tablas 3.2, 3.3, 3.4.

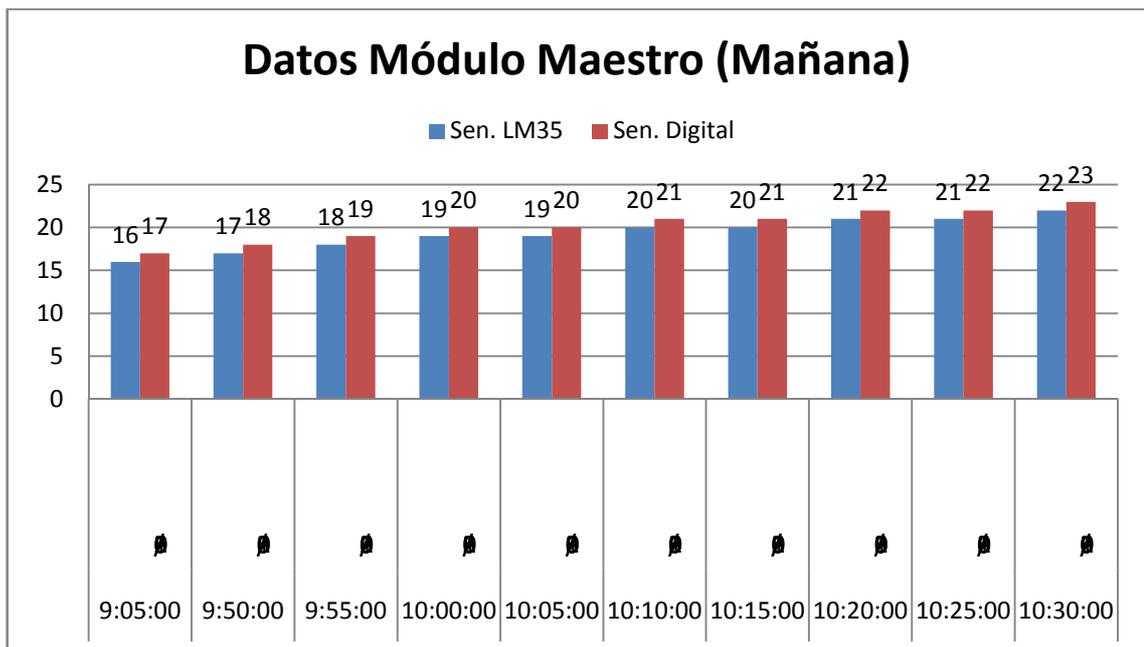


Figura 3.12.- Datos del módulo maestro en la mañana

Tabla 3.2.- Datos del módulo maestro en la mañana

Datos Módulo Maestro (Mañana)			
Hora	Fecha	Sen. LM35	Sen. Digital
9:05:00	23/05/2010	16	17
9:50:00	23/05/2010	17	18
9:55:00	23/05/2010	18	19
10:00:00	23/05/2010	19	20
10:05:00	23/05/2010	19	20
10:10:00	23/05/2010	20	21
10:15:00	23/05/2010	20	21
10:20:00	23/05/2010	21	22
10:25:00	23/05/2010	21	22
10:30:00	23/05/2010	22	23

Los datos obtenidos del módulo maestro se puede observar que en la mañana sus datos varían en un rango ascendente de 16°C a 23°C respectivamente, en donde la temperatura es muy importante para el crecimiento de las plantas y el crecimiento del tomate que necesita un clima cálido hasta un frio moderado.

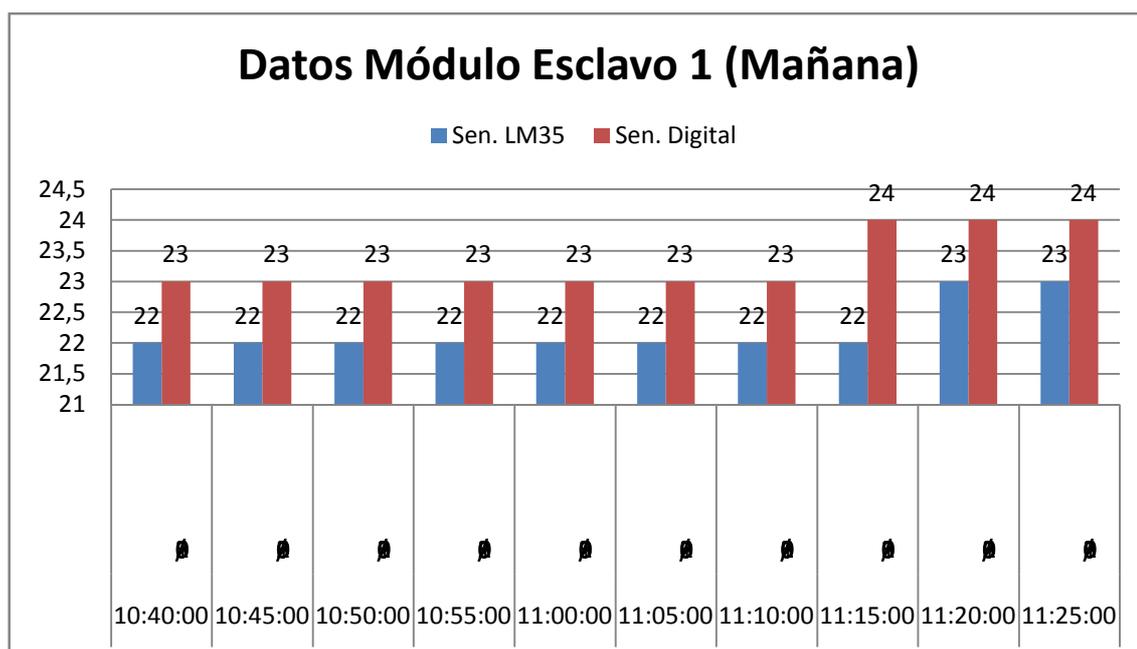


Figura 3.13.- Datos del módulo esclavo 1 en la mañana

Tabla 3.3.- Datos del módulo esclavo 1 en la mañana

Datos Módulo Esclavo 1			
Hora	Fecha	Sen. LM35	Sen. Digital
10:40:00	23/05/2010	22	23
10:45:00	23/05/2010	22	23
10:50:00	23/05/2010	22	23
10:55:00	23/05/2010	22	23
11:00:00	23/05/2010	22	23
11:05:00	23/05/2010	22	23
11:10:00	23/05/2010	22	23
11:15:00	23/05/2010	22	24
11:20:00	23/05/2010	23	24
11:25:00	23/05/2010	23	24

Estos datos obtenidos del módulo esclavo 1 en el rango cercano al medio día se puede observar que sigue en crecimiento la temperatura y esto varía de acuerdo al clima que cada día se presente. Pero este clima con esta temperatura es ideal para el crecimiento del tomate riñón.

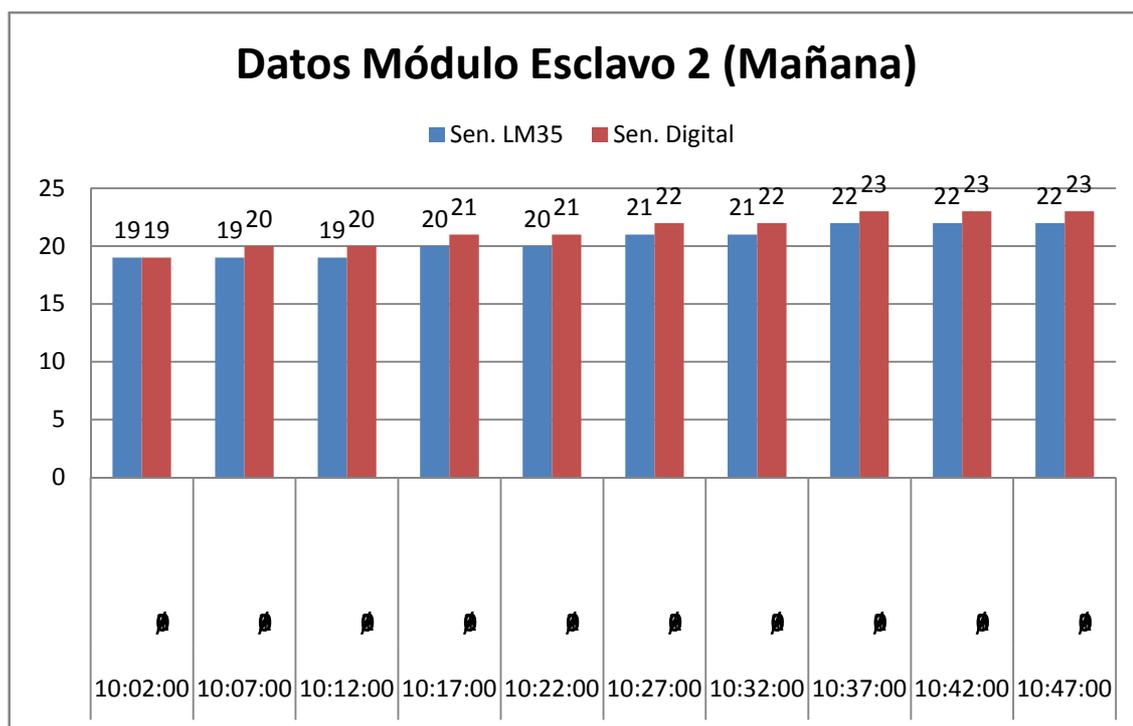


Figura 3.14.- Datos del módulo esclavo 2 en la mañana

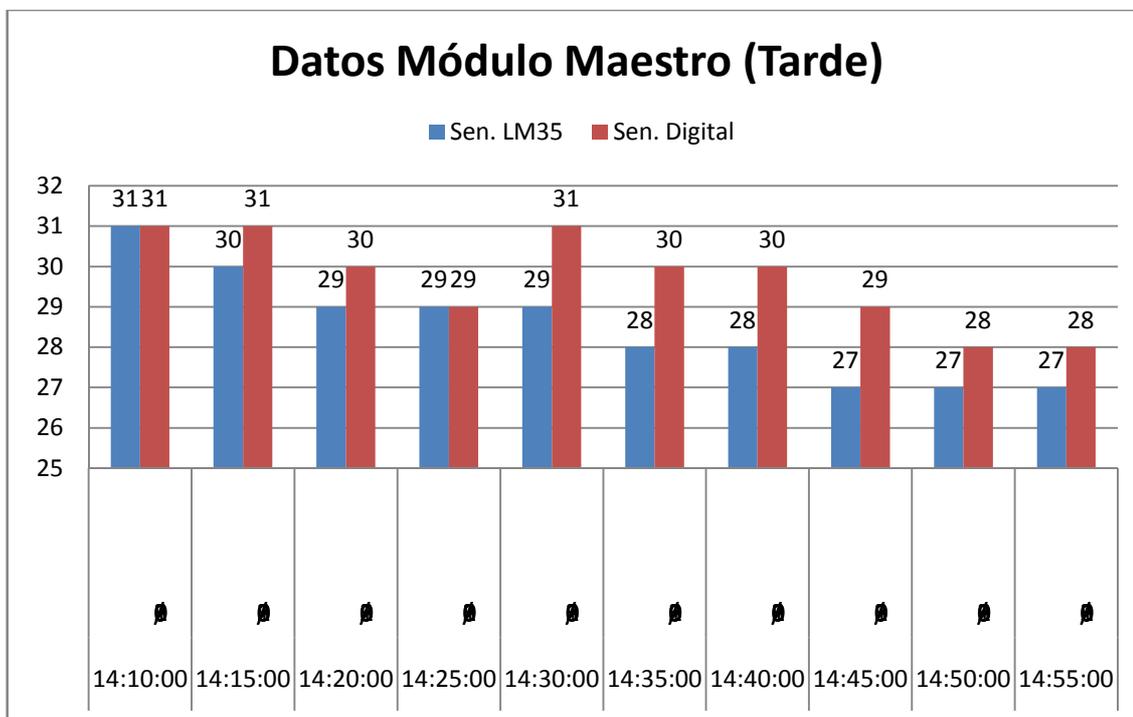
*Tabla 3.4.- Datos del módulo esclavo 2 en la mañana*

<b>Datos Módulo Esclavo 2</b>			
<b>Hora</b>	<b>Fecha</b>	<b>Sen. LM35</b>	<b>Sen. Digital</b>
10:02:00	23/05/2010	19	19
10:07:00	23/05/2010	19	20
10:12:00	23/05/2010	19	20
10:17:00	23/05/2010	20	21
10:22:00	23/05/2010	20	21
10:27:00	23/05/2010	21	22
10:32:00	23/05/2010	21	22
10:37:00	23/05/2010	22	23
10:42:00	23/05/2010	22	23
10:47:00	23/05/2010	22	23

Los datos obtenidos en la mañana por el módulo esclavo 2 se observa que varían en una escala de 19°C a 23°C que mide cada sensor tanto analógico como digital.

De una forma gráfica se puede conocer que los tres módulos recolectan datos de temperatura en forma ascendente en este día, dando lugar a que por la mañana los datos van en aumento mientras se acercan al medio día.

Ahora para los datos recolectados en la tarde de cada uno de los módulos se puede ver en las figuras 3.15, 3.16, 3.17 y en las tablas 3.5, 3.6, 3.7.



*Figura 3.15.- Datos del módulo maestro en la tarde*

*Tabla 3.5.- Datos del módulo maestro en la tarde*

Datos Módulo Maestro (Tarde)			
Hora	Fecha	Sen. LM35	Sen. Digital
14:10:00	23/05/2010	31	31
14:15:00	23/05/2010	30	31
14:20:00	23/05/2010	29	30
14:25:00	23/05/2010	29	29
14:30:00	23/05/2010	29	31
14:35:00	23/05/2010	28	30
14:40:00	23/05/2010	28	30
14:45:00	23/05/2010	27	29
14:50:00	23/05/2010	27	28
14:55:00	23/05/2010	27	28

En los datos recolectados por el módulo maestro se puede observar que tiene un pico de 31°C y van descendiendo hasta llegar a 28°C, estos datos nos dan una pauta que en el invernadero se abrieron las cortinas para tener una temperatura ideal de crecimiento para los tomates riñones.

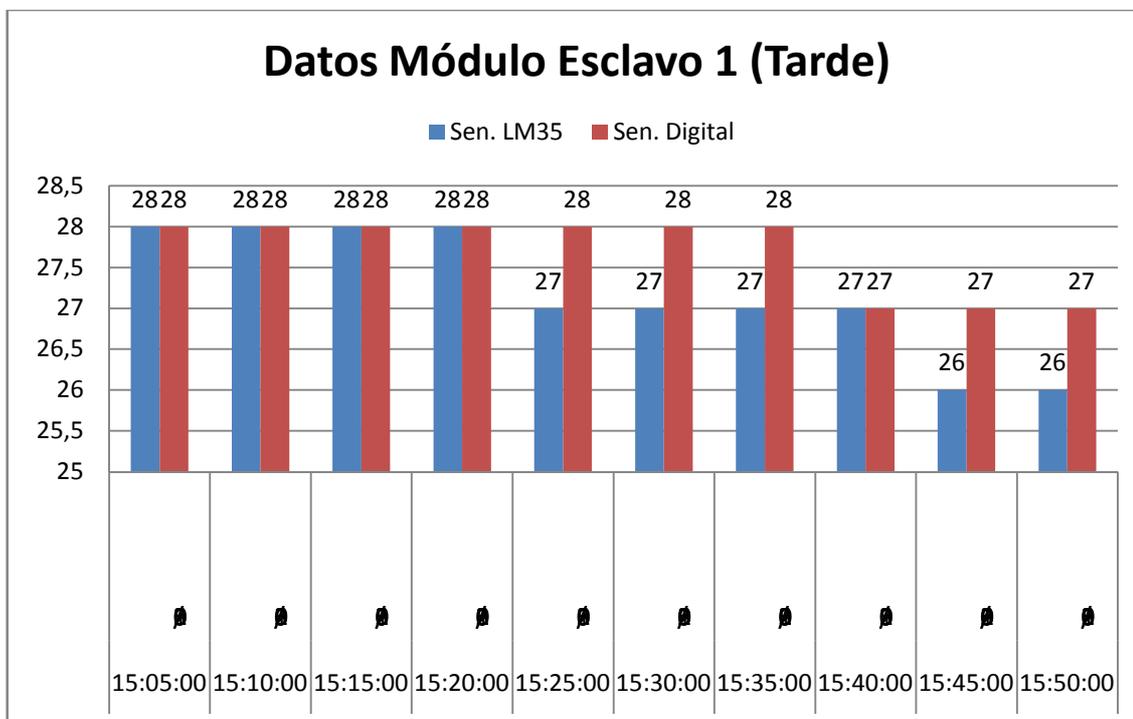


Figura 3.16.- Datos del módulo esclavo 1 en la tarde

Tabla 3.6.- Datos del módulo esclavo 1 en la tarde

Datos Módulo Esclavo 1			
Hora	Fecha	Sen. LM35	Sen. Digital
15:05:00	23/05/2010	28	28
15:10:00	23/05/2010	28	28
15:15:00	23/05/2010	28	28
15:20:00	23/05/2010	28	28
15:25:00	23/05/2010	27	28
15:30:00	23/05/2010	27	28
15:35:00	23/05/2010	27	28
15:40:00	23/05/2010	27	27
15:45:00	23/05/2010	26	27
15:50:00	23/05/2010	26	27

Como se observa en la figura 3.16 los datos van descendiendo a temperaturas ideales para los tomates riñones que se encuentran en rangos entre 28°C y 27°C.

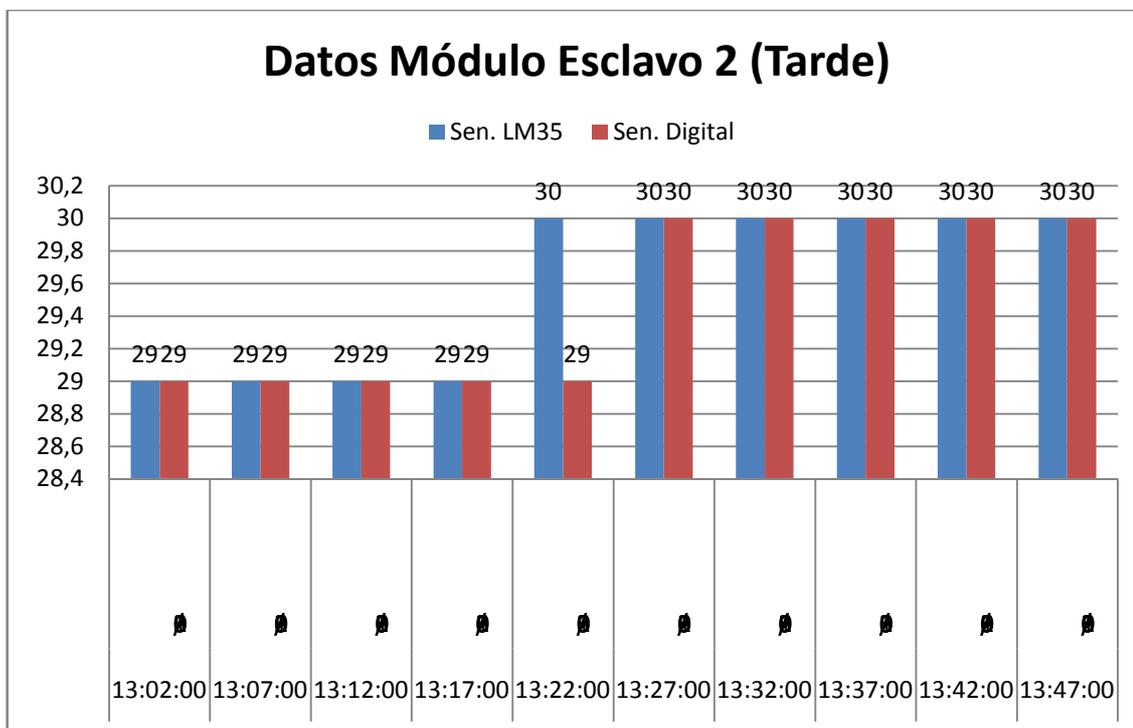


Figura 3.17.- Datos del módulo esclavo 2 en la tarde

Tabla 3.7.- Datos del módulo esclavo 2 en la tarde

Datos Módulo Esclavo 2			
Hora	Fecha	Sen. LM35	Sen. Digital
13:02:00	23/05/2010	29	29
13:07:00	23/05/2010	29	29
13:12:00	23/05/2010	29	29
13:17:00	23/05/2010	29	29
13:22:00	23/05/2010	30	29
13:27:00	23/05/2010	30	30
13:32:00	23/05/2010	30	30
13:37:00	23/05/2010	30	30
13:42:00	23/05/2010	30	30
13:47:00	23/05/2010	30	30

Se puede observar en el módulo data Logger esclavo 2 que los datos están en los límites permitidos para un crecimiento ideal de los tomates riñones debido a que la temperatura esta variando gradualmente de 29°C a 30°C.

Los datos almacenados por la noche de cada módulo Data Logger se puede ver en las figuras 3.18, 3.19, 3.20 y las tablas 3.8, 3.9, 3.10.

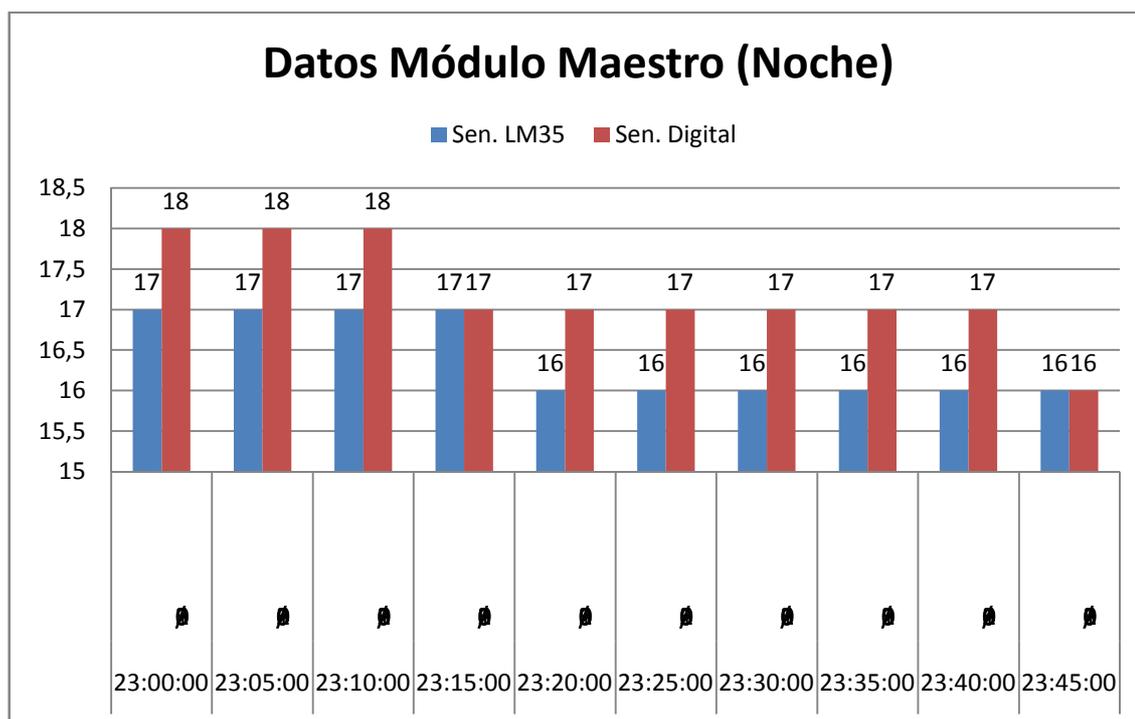
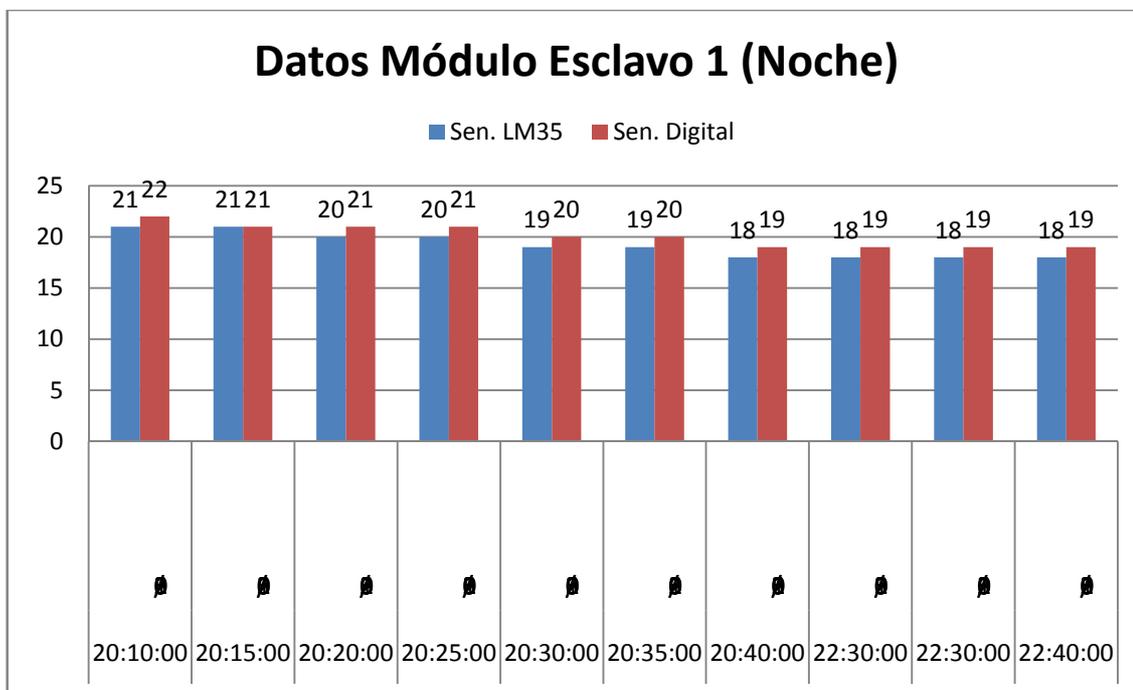


Figura 3.18.- Datos del módulo maestro en la noche

Tabla 3.8.- Datos del módulo maestro en la noche

Datos Módulo Maestro (Noche)			
Hora	Fecha	Sen. LM35	Sen. Digital
23:00:00	23/05/2010	17	18
23:05:00	23/05/2010	17	18
23:10:00	23/05/2010	17	18
23:15:00	23/05/2010	17	17
23:20:00	23/05/2010	16	17
23:25:00	23/05/2010	16	17
23:30:00	23/05/2010	16	17
23:35:00	23/05/2010	16	17
23:40:00	23/05/2010	16	17
23:45:00	23/05/2010	16	16

En los datos recolectados por el módulo maestro se puede observar que la temperatura empieza a descender gradualmente en cada uno de los sensores, manteniendo la temperatura ideal requerida en el invernadero.

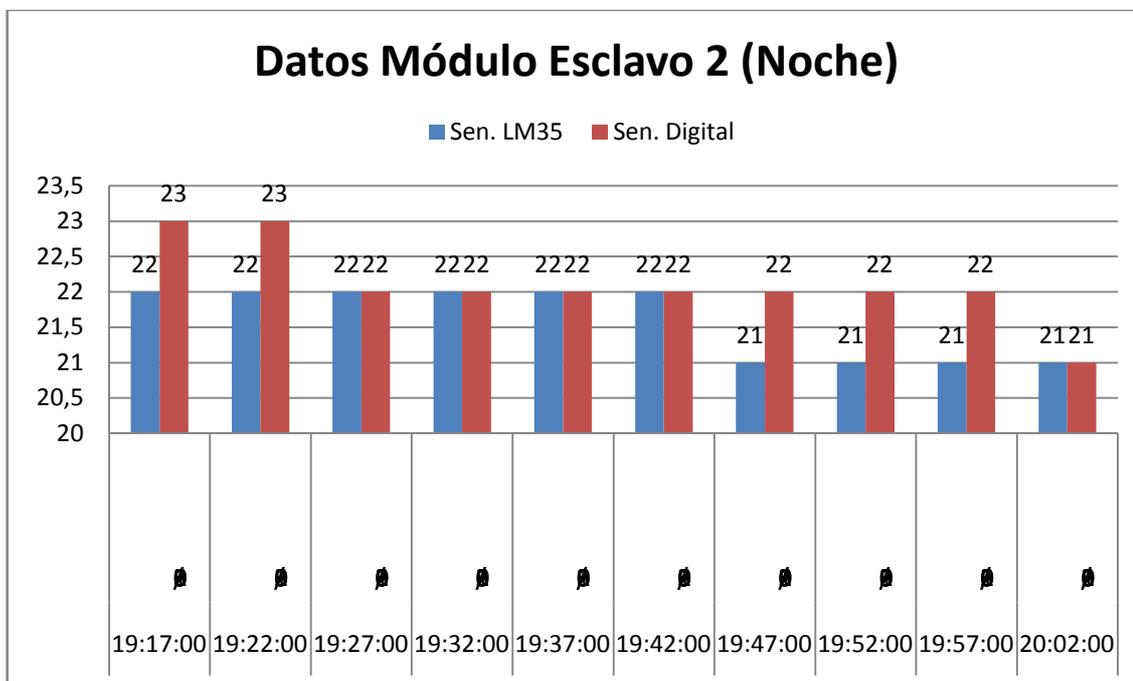


*Figura 3.19.- Datos del módulo esclavo 1 en la noche*

*Tabla 3.9.- Datos del módulo esclavo 1 en la noche*

Datos Módulo Esclavo 1			
Hora	Fecha	Sen. LM35	Sen. Digital
20:10:00	23/05/2010	21	22
20:15:00	23/05/2010	21	21
20:20:00	23/05/2010	20	21
20:25:00	23/05/2010	20	21
20:30:00	23/05/2010	19	20
20:35:00	23/05/2010	19	20
20:40:00	23/05/2010	18	19
22:30:00	23/05/2010	18	19
22:30:00	23/05/2010	18	19
22:40:00	23/05/2010	18	19

La temperatura del data logger esclavo 1 tiene un rango de variación entre 22°C a 18°C, como se muestra en la figura 3.19, dando a notar que la temperatura ha empezado a bajar de una forma drastica, pero comparandolo con el módulo maestro se puede observar que la temperatura se mantiene en las horas mas avanzadas de la noche.



*Figura 3.20.- Datos del módulo esclavo 2 en la noche*

*Tabla 3.10.- Datos del módulo esclavo 2 en la noche*

Datos Módulo Esclavo 2			
Hora	Fecha	Sen. LM35	Sen. Digital
19:17:00	23/05/2010	22	23
19:22:00	23/05/2010	22	23
19:27:00	23/05/2010	22	22
19:32:00	23/05/2010	22	22
19:37:00	23/05/2010	22	22
19:42:00	23/05/2010	22	22
19:47:00	23/05/2010	21	22
19:52:00	23/05/2010	21	22
19:57:00	23/05/2010	21	22
20:02:00	23/05/2010	21	21

De las pruebas realizadas los datos recogidos por el módulo esclavo 2 se puede observar que la temperatura varía en un rango de 22°C a 21°C, permitiendo deducir que en el invernadero se está manteniendo una temperatura excelente para el crecimiento y desarrollo normal de los tomates riñones.

### **3.5 ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES Y PRUEBAS EXPERIMENTALES.**

Los valores obtenidos y bajados en la PC a través del módulo maestro, son similares a los datos almacenados por cada uno de los módulos esclavos, existiendo un margen de error en la hora de almacenamiento de 2 o 5 segundos debido a que los datos que llegan al módulo maestro a través de la red Zigbee incluyen la fecha y hora de su respectivo módulo maestro.

Los Data Logger almacenan datos cada 5 minutos como se observa en cada una de las tablas.

En las muestras obtenidas del invernadero de tomates riñones, por cada uno de los módulos se puede observar que la temperatura tiene un valor pico de 31°C en las horas que el sol empieza a irradiar con mayor intensidad, pero por la noche llegan hasta valores de 16°C con tendencia a seguir bajando mientras sigue avanzando hacia la madrugada; temperaturas que son excelentes para un desarrollo normal de los tomates riñones.

Comparando los datos recolectados de cada uno de los módulos según los horarios tanto en la mañana, tarde y noche se puede observar que los datos almacenados tienen una pequeña variación en su temperatura, debido a la ubicación de los módulos en el invernadero, dando así a notar que la temperatura en el todo el invernadero varía entre 2 y 3 grados.

Se puede observar que los datos que ingresan al módulo maestro a través de la red Zigbee, primero llegan los bytes de inicio y en conjunto los datos de temperatura de cada uno de los sensores, permitiendo tener de una forma segura los datos y así no exista colisión o pérdida de algún dato enviado por los módulos esclavos.

En las memorias se puede observar que los datos almacenados están con su respectiva hora y fecha, y si existe algún error de envío este almacena el dato de la temperatura con el byte de inicio para que la trama de almacenamiento de

8 bytes se cumpla, también se puede observar que si el espacio de memoria aun no ha sido utilizado este se encuentra ocupado por la letra "F".

De las pruebas realizadas se obtuvo los datos más representativos de los miles de datos almacenados en cada uno de los Data Logger, tanto en los módulos esclavos como en el módulo maestro, debido a que por cada día se recolectan 288 datos.

### **3.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LOS DATA LOGGER**

Como una de las metas del proyecto es la evaluación de los alcances y limitaciones del sistema Data Logger enlazados con la red Zigbee en la cual se han notado las siguientes limitaciones:

- Ⓜ El sistema de alimentación es a través de baterías, debido a que cada módulo se encuentra en sitios que no tengan acceso a la corriente eléctrica, permitiendo no conocer con seguridad que día u hora se puede agotar la batería.
- Ⓜ Si las memorias se llenan, el contador continua con el almacenamiento de datos, este contador vuelve al inicio de las memorias originado a que se sobre escriba los datos en cada una de las memorias, por tal motivo se perderán los datos almacenados con anterioridad.
- Ⓜ Si las antenas de los módulos están mal direccionadas o los módulos están mal sincronizados en el envío y recepción de los datos, estos pueden perderse al ser enviados por los módulos esclavos utilizando la red Zigbee al módulo maestro.
- Ⓜ El alcance de los módulos esclavos utilizando la red Zigbee en ambientes interiores es menor, mientras más obstáculos existan o más alejados de su módulo maestro se hallen.

Debido a la buena configuración, sincronización y direccionamiento de los módulos utilizando la red Zigbee se noto un desempeño eficiente de los Data Logger estableciendo los siguientes alcances.

- ® Facilidad en la adquisición de datos en forma inalámbrica de cada uno de los módulos esclavos hacia el módulo maestro.
- ® Gran ahorro de corriente debido a que los módulos Xbee PRO consumen poca corriente y debido a que se puede desactivar el back light del LCD permitiéndonos un ahorro de hasta 50 mA
- ® Por sus características este módulo Data Logger permite almacenar y recolectar datos de cualquier ambiente cerrado dando un alcance de hasta 50 m y de 250 m en ambientes abiertos que tengan una línea de vista.
- ® Su diseño permite incorporar 3 sensores analógicos mas para la recolección de más datos ambientales.
- ® Por su tamaño permite el ahorro de espacio físico pudiéndose acoplar en un sitio de espacio reducido y en donde no necesite la conexión de ningún cable.
- ® Mayor orden de trabajo, debido a que los datos almacenados en los módulos se bajan al computador en un orden determinado, como es por cada uno de los módulos, horas y fechas respectivas.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- ® Se diseñó e implementó un Data Logger enlazados con una red Zigbee, el mismo que a más de realizar el almacenamiento de los datos ambientales de temperatura en el interior del invernadero, presenta los datos a través de un LCD en tiempo real.
- ® Se ha diseñado e implementado un software que permite bajar los datos del módulo Data Logger maestro, así también nos admite bajar los datos almacenados en los módulos Data Logger esclavos cumpliendo de esta manera con los objetivos trazados en el presente proyecto de tesis.
- ® Por medio de la investigación se analizó, conoció y estudió cada uno de los modos de operación para crear una red con los módulos Xbee PRO que utilizan una tecnología Zigbee.
- ® Se implementó una red Zigbee con un módulo maestro como punto central o coordinador y dos módulos esclavos que envían todos los datos recolectados cada 5 minutos a su módulo maestro permitiendo resolver los problemas que presenta la ingeniería en el desarrollo de productos innovadores.

- ® El microcontrolador de cada Data Logger está programado para que los datos almacenados sean bajados por medio del puerto USB y éste se conecte a un computador portátil por su facilidad de transportar.
- ® La eficiencia de nuestros equipos depende de calibrar bien los equipos, es decir tenemos que verificar que primero se encienda nuestro módulo maestro y después cada uno de los módulos esclavos.
- ® Después de realizar las pruebas respectivas los módulos Data Logger permiten un almacenamiento ordenado de los datos, con sus respectivas fechas y horas recogidas por cada sensor analógico y digital.
- ® Los resultados experimentales obtenidos de los módulos Data Logger, mostraron que la temperatura en el invernadero al medio día y parte de la mañana tiende a elevarse llegando a una temperatura de hasta 31°C, permitiéndonos abrir las ventilaciones para que la temperatura baje hasta temperaturas ideales para un buen desarrollo de los tomates riñones.
- ® Una ventaja de los módulos Data Logger esclavos es que permiten bajar los datos a través de la PC para obtener todos los datos almacenados si la red Zigbee se llega a caer en el envío de los datos.
- ® Se comprobó que la transmisión de datos se realiza sin ningún problema hasta una distancia de 50 metros con la presencia de obstáculos como paredes y plástico. Además se comprobó que para distancias mayores a 51 metros con obstáculos la transmisión de los datos no ocurre inmediatamente. Esta es una de las limitaciones de los módulos Xbee PRO.
- ® Se demostró que los módulos transmiten hasta 250 m en línea de vista sin ningún problema.

- ® Además se probó que los módulos Xbee PRO que tienen incorporado una whip antena bien direccionada envían datos a distancias mayores que los módulos con antena chip.
- ® Con el desarrollo del presente proyecto se comprobó que el estándar ZigBee se puede usar en aplicaciones comerciales, para nuestro caso se midió la temperatura ambiental a través de 6 sensores, siendo 3 digitales y 3 analógicos.
- ® Se comprobó que cada módulo Data Logger esclavo almacena hasta 65536 tramas de datos que equivale a 228 días aproximadamente.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

- ® El proyecto desarrollado realizó la comunicación de tres módulos empleando módulos Zigbee, se recomienda continuar con la investigación sobre el estándar Zigbee de tal manera que se pueda controlar otras variables como medición de pH y CO<sub>2</sub>, variables indispensables en un invernadero.
- ® Antes de encender cada módulo Data Logger se recomienda encender primero el módulo maestro y después cualquiera de los módulos Data Logger esclavos, para que estén bien sincronizados para el envío adecuado de datos al módulo maestro.
- ® Se recomienda leer el manual de operación antes de realizar cualquier configuración a través del teclado de fecha y hora de cada módulo Data Logger.
- ® Es importante considerar el tamaño de almacenamiento de las memorias de cada módulo Data Logger para bajar todos los datos y estos a su vez no sean sobre escritos, porque supere los días de almacenamiento.

- Ⓜ Es recomendable resetear el contador de las memorias de todos los data Logger después de ser bajados todos sus datos, para que empiecen nuevamente almacenar desde el inicio de la memoria.
  
- Ⓜ En cuanto al estándar Zigbee se recomienda a quienes estén interesados en el área integrarse a foros virtuales para poder compartir información y novedades relaciones con este campo.
  
- Ⓜ Es aconsejable medir cada cierto tiempo el voltaje de las baterías para poder cambiarlas y así los módulos continúen con el almacenamiento correcto de los datos.

## **BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES**

1. BRUCE A. Hallberg, "Fundamentos de Redes", Primera edición, Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A. México, 2003.
2. BEHROUZ A. Forouzan, "Transmisión de datos y redes de comunicación", Cuarta edición, Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A., España, 2007.
3. DORF C. Richard, SVOBODA A. James, "Circuitos Eléctricos", Quinta edición, Editorial Alfaomega S.A. México, 2003.
4. JAEGER C. Richard, BLALOCK N. Travis, "Diseño de circuitos Microelectrónicos", Segunda edición, Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A. México, 2005.
5. GRAF F. Rudolf, "Circuitos Amplificadores", Primera edición, Editorial Paraninfo S.A., Madrid España, 1999.
6. SINGH Jasprit, "Dispositivos Semiconductores", Primera edición, McGraw-Hill Interamericana S.A. México, 1997.
7. COUCH II LEON W. "Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos", Prentice Hall, México. 1998.
8. BÁEZ LÓPEZ David, "Análisis de circuitos con PSpice" , Primera edición, Editorial Alfaomega S.A., México, 2002.
9. CONEJO J. Antonio, CLAMAGIRAND Antonio, POLO José Luis, ALGUACIL Natalia, "Circuitos Electrónicos para la ingeniería", Primera edición, Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A., España, 2004.

10. MARSTON R.M., "Circuitos Digitales TTL", Primera edición, Editorial Paraninfo S.A., España, 1994.

11. THORBORG Kjeld, "Power Electronics" Ed. Prentice Hall. England 1988.

12. COUGHLIN Robert F/ DRISCOLL, Frederick F. Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales, 5ª edición, Ed. Prentice Hall, México, 1999

### **ENLACES:**

1. <http://www.diselc.es/diselc/utilidades.htm>
2. <http://grupos.emagister.com/ficheros/vcruzada?idGrupo=1007&idFichero=20740>
3. <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/metros/data-logger.htm>
4. <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/electronica.pdf>
5. <http://www.ece.uprm.edu/~mtoledo/5205/>
6. [http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia\\_Usuario.pdf](http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf)
7. <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf> (ZigBee)
8. <http://www.telcommunity.com/zigbee-y-la-wi-fi-alliances-colaboran-con-una-red-inalambrica-smart-grid/>
9. <http://www.eleconomista.es/economia/noticias/1991761/03/10/COMUNICADO-ZigBee-y-la-WiFi-Alliances-colaboran-con-una-red-inalambrica-Smart-Grid.html>

# **ANEXOS**

## ANEXO A

### Manejo del Teclado

Para mejor operación se ha realizado un manual, el mismo que le permitirá manejar de mejor manera los módulos Data Logger

#### Modo de Operación

##### **Control de Dato Analógico 1**



Permite observar a través del LCD el valor medido del sensor analógico LM35

##### **Control de Dato Digital**



Permite observar a través del LCD el valor medido del sensor digital DS18B20

##### **Back Light**



Permite apagar la luz de fondo del LCD

##### **Ingreso al Modo USB**



Permite ingresar al modo USB para bajar los datos a través de la PC

##### **Apagar la Alarma**



Permite apagar la alarma si se enciende

## Actualización del Reloj

### Actualiza el Reloj



Permite ingresar al modo de actualización del reloj

### Cursor hacia Arriba



Permite subir los valores de hora y fecha

### Cursor hacia abajo



Permite bajar los valores de hora y fecha

### Mover hacia la derecha



Permite moverse hacia la derecha para configurar los valores

## ANEXO B

### Programación del PIC18F4550

```
' *****
' * main program loop - remember, you must keep the USB      *
' * connection alive with a call to USBService every couple *
' * of milliseconds or so...                                  *
' *****
'usbinit ' initialise USB...
Lcdout $fe, 1
ProgramStart:
    if FLAG5=1 and flag7=1 THEN
        flag5=0
        flag7=0
'        if temp1>=40 or temp2>=40 then
'            alarma=1
'        else
'            alarma=0
'        endif
        gosub leerrtc
        gosub GrabarMem1
    endif
if FLAG9=1 and flag11=1 THEN
    flag9=0
    flag11=0
'    if temp3>=40 or temp4>=40 then
'        alarma=1
'    else
'        alarma=0
'    endif
    gosub leerrtc
    gosub GrabarMem2
endif
ADCIN 0,ADC_1
ADC_1=ADC_1>>2
USBBUFFER[3]=ADC_1.BYTE0
t1=ADC_1.BYTE0
gosub Start_Convert
R_Temp=R_Temp>>4
t2=R_Temp.BYTE0
LCDOUT $fe, $80, "T1:", dec3 t1, "    ", "T2:", dec3 t2, "    "
if TEMP1>=40 OR TEMP2>=40 OR TEMP3>=40 OR TEMP4>=40 OR t1>=40 or t2>=40 then
    alarma=1
else
    alarma=0
endif
gosub leerRTC
dato1=minu & %00001111
dato2=minu>>4
dato=dato2*10+dato1
select case dato
    case 1,6,11,16,21,26,31,36,41,46,51,56
        flag1=0
    case 0,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55
        IF segu=0 and flag1=0 THEN
            flag1=1
            gosub GrabarMem
```

```

        ENDIF
end select
TECLA=255
gosub BARRIDO
gosub REBOTE
select case TECLA
  if tecla < 15 then
    LCDOUT $fe, $80, "Tecla:",DEC2 Tecla
    select case tecla
      case 0
        ADCIN 0,ADC_1
        ADC_1=ADC_1>>2
        USBBUFFER[3]=ADC_1.BYTE0
        LCDOUT $fe, $C0, "ADC0:", dec3 ADC_1.BYTE0
      case 1
        ADCIN 1,ADC_2
        ADC_1=ADC_2>>2
        USBBUFFER[3]=ADC_2.BYTE0
        LCDOUT $fe, $C0, "ADC1:", dec3 ADC_2.BYTE0
      case 2
        ADCIN 2,ADC_3
        ADC_1=ADC_3>>2
        USBBUFFER[3]=ADC_3.BYTE0
        LCDOUT $fe, $C0, "ADC2:", dec3 ADC_3.BYTE0
      case 3
        ADCIN 3,ADC_4
        ADC_1=ADC_4>>2
        USBBUFFER[3]=ADC_4.BYTE0
        LCDOUT $fe, $C0, "ADC3:", dec3 ADC_4.BYTE0
      case 4
        ADCIN 4,ADC_5
        ADC_1=ADC_5>>2
        USBBUFFER[3]=ADC_5.BYTE0
        LCDOUT $fe, $C0, "ADC4:", dec3 ADC_5.BYTE0
      case 5
        gosub Start_Convert
        R_Temp=R_Temp>>4
        LCDOUT $fe, $C0, "DS18B20:",dec3 R_Temp.BYTE0
      case 6
        alarma=~alarma
      case 10
        FLAG2=1
        bk=1
        pos=0
        Lcdout $FE,$80,"ACTUALIZAR RELOJ" 'Ir a la Primera linea
        Lcdout $fe,$C0," EN TIEMPO REAL " 'Ir a la Segunda linea
        pause 2000
        lcdout $FE, $01
        gosub tiempoact
        lcdout $FE, $0E
        lcdout $FE, $84
      case 11
        bk=~bk
      case 12
        alarma=~alarma
      case 13
        LCDOUT $fe, $1

```

```

LCDOUT $fe, $80, "    Modo USB    "
IF UsbONOFF=0 THEN
    usbinit ' initialise USB...
    UsbONOFF=1
ENDIF
lazo=1
while lazo=1
    gosub DoUSBin
    Select case USBBUFFER[2]      ' Leer 5 sensores temperatura
    case "A"
        USBBUFFER[1]=contar.lowbyte
        USBBUFFER[2]=contar.highbyte
        USBBUFFER[3]=contar1.lowbyte
        USBBUFFER[4]=contar1.highbyte
        USBBUFFER[5]=contar2.lowbyte
        USBBUFFER[6]=contar2.highbyte
        USBBUFFER[7]=231
        gosub DoUSBOUt
    case "B"
        USBBUFFER[1]=band1
        USBBUFFER[2]=band2
        USBBUFFER[3]=band3
        USBBUFFER[7]=232
        gosub DoUSBOUt
    case "C"
        select case band1
        case 0
            memoria=0
            for g=0 to contar-1
                GOSUB Leermem
                datom1=249
                datom2=250
                gosub enviar
            next g
            USBBUFFER[7]=240
            gosub DoUSBOUt
        case 1
            LCDOUT $fe, $1
            memoria=0
            LCDOUT $fe, $80, "Memoria:",DEC2 memoria
            memoria=0
            for g=0 to 8191
                GOSUB Leermem
                datom1=249
                datom2=250
                gosub enviar
                LCDOUT $fe, $c0, "G:",DEC4 g
            next g
            memoria=1
            LCDOUT $fe, $80, "Memoria:",DEC2 memoria
            for g=0 to contar-1
                GOSUB Leermem
                datom1=249
                datom2=250
                gosub enviar
                LCDOUT $fe, $c0, "G:",DEC4 g
            next g
    end select
end select
end while

```

```

LCDOUT $fe, $ca, "Fin:"
USBBUFFER[7]=240
gosub DoUSBOut
case 2
memoria=0
for g=0 to 8191
  GOSUB Leermem
  datom1=249
  datom2=250
  gosub enviar
next g
memoria=1
for g=0 to 8191
  GOSUB Leermem
  datom1=249
  datom2=250
  gosub enviar
next g
memoria=2
for g=0 to contar-1
  GOSUB Leermem
  datom1=249
  datom2=250
  gosub enviar
next g
USBBUFFER[7]=240
gosub DoUSBOut
case 3
memoria=0
for g=0 to 8191
  GOSUB Leermem
  datom1=249
  datom2=250
  gosub enviar
next g
memoria=1
for g=0 to 8191
  GOSUB Leermem
  datom1=249
  datom2=250
  gosub enviar
next g
memoria=2
for g=0 to 8191
  GOSUB Leermem
  datom1=249
  datom2=250
  gosub enviar
next g
memoria=3
for g=0 to contar-1
  GOSUB Leermem
  datom1=249
  datom2=250
  gosub enviar
next g
USBBUFFER[7]=240

```

```

        gosub DoUSBOut
end select
for e=0 to 100
    pause 2
    usbservice
next e

select case band2
    case 0
        memoria=4
        for g=0 to contar1-1
            GOSUB Leermem
            datom1=251
            datom2=252
            gosub enviar
        next g
        USBBUFFER[7]=241
        gosub DoUSBOut
    case 1
        LCDOUT $fe, $1
        memoria=4
        LCDOUT $fe, $80, "Memoria:",DEC2 memoria
        for g=0 to 8191
            GOSUB Leermem
            datom1=251
            datom2=252
            gosub enviar
            LCDOUT $fe, $c0, "G:",DEC4 g
        next g
        memoria=5
        LCDOUT $fe, $80, "Memoria:",DEC2 memoria
        for g=0 to contar1-1
            GOSUB Leermem
            datom1=251
            datom2=252
            gosub enviar
            LCDOUT $fe, $c0, "G:",DEC4 g
        next g
        LCDOUT $fe, $ca, "Fin:"
        USBBUFFER[7]=241
        gosub DoUSBOut
end select
for e=0 to 100
    pause 2
    usbservice
next e
select case band3
    case 0
        memoria=6
        for g=0 to contar2-1
            GOSUB Leermem
            datom1=253
            datom2=254
            gosub enviar
        next g
        USBBUFFER[7]=242
        gosub DoUSBOut

```

```

        case 1
            LCDOUT $fe, $1
            memoria=6
            LCDOUT $fe, $80, "Memoria:",DEC2 memoria
            for g=0 to 8191
                GOSUB Leermem
                datom1=253
                datom2=254
                gosub enviar
                LCDOUT $fe, $c0, "G:",DEC4 g
            next g
            memoria=7
            LCDOUT $fe, $80, "Memoria:",DEC2 memoria
            for g=0 to contar2-1
                GOSUB Leermem
                datom1=253
                datom2=254
                gosub enviar
                LCDOUT $fe, $c0, "G:",DEC4 g
            next g
            LCDOUT $fe, $ca, "Fin:"
            USBBUFFER[7]=242
            gosub DoUSBOut
        end select
    case "D"
        lazo=0
    case "E"
        write 1,0
        write 2,0
        write 3,0
        write 4,0
        write 5,0
        write 6,0
        write 7,0
        write 8,0
        write 9,0

        READ 1,contar.lowbyte
        READ 2,contar.highbyte
        READ 3,contar1.lowbyte
        READ 4,contar1.highbyte
        READ 5,contar2.lowbyte
        READ 6,contar2.highbyte
        READ 7,band1
        READ 8,band2
        READ 9,band3
    END SELECT
WEND
end select
endif
END SELECT

WHILE FLAG2=1
    TECLA=255
    gosub BARRIDO
    gosub REBOTE
    select case tecla

```

```

CASE 1
  select case pos
    case 0
      tempo=hora
      gosub BCDA Bin
      tempo=tempo+1
      if tempo=24 then
        tempo=0
      endif
      gosub BinaBCD
      hora=tempo
      lcdout $FE, $84,hex2 hora
      lcdout $FE, $84
    case 1
      tempo=minu
      gosub BCDA Bin
      tempo=tempo+1
      if tempo=60 then
        tempo=0
      endif
      gosub BinaBCD
      minu=tempo
      lcdout $FE, $87,hex2 minu
      lcdout $FE, $87
    case 2
      tempo=segu
      gosub BCDA Bin
      tempo=tempo+1
      if tempo=60 then
        tempo=0
      endif
      gosub BinaBCD
      segu=tempo
      lcdout $FE, $8a,hex2 segu
      lcdout $FE, $8a
    case 3
      dias=dias+1
      if dias=8 then
        dias=1
      endif
      SELECT CASE DIAS
        CASE 1
          lcdout "Dom." 'mostrar día de la semana
        CASE 2
          lcdout "Lun." 'mostrar día de la semana
        CASE 3
          lcdout "Mar." 'mostrar día de la semana
        CASE 4
          lcdout "Mie." 'mostrar día de la semana
        CASE 5
          lcdout "Jue." 'mostrar día de la semana
        CASE 6
          lcdout "Vie." 'mostrar día de la semana
        CASE 7
          lcdout "Sab." 'mostrar día de la semana
      end select
      lcdout $FE, $c0

```

## ANEXO C

### Data Sheet Módulo Xbee PRO

# XBee™ /XBee-PRO™ OEM RF Modules

---

XBee/XBee-PRO OEM RF Modules  
ZigBee™ Networks  
RF Module Operation  
RF Module Configuration  
Appendices



### **Product Manual v8.x1x Beta - ZigBee Protocol**

For OEM RF Module Part Numbers: XB24-...-002  
XBP24-...-002

#### **ZigBee OEM RF Modules by MaxStream, Inc.**

Firmware Versions:       8.0xx - Coordinator, Transparent Operation  
                                  8.1xx - Coordinator, API Operation  
                                  8.2xx - Router, Transparent Operation  
                                  8.3xx - Router, API Operation



**MaxStream**®

355 South 520 West, Suite 180

Lindon, UT 84042

Phone: (801) 765-9885

Fax: (801) 765-9895

rf-xperts@maxstream.net

www.MaxStream.net (live chat support)

M100344

2007.01.04

# 1. XBee/XBee-PRO OEM RF Modules

The XBee and XBee-PRO OEM RF Modules were engineered to operate within the ZigBee protocol and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between remote devices.

Both modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other.



## 1.1. Key Features

### High Performance, Low Cost

#### XBee

- Indoor/Urban: up to 100' (30 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 300' (100 m)
- Transmit Power: 1 mW (0 dBm)
- Receiver Sensitivity: -92 dBm

#### XBee-PRO

- Indoor/Urban: up to 300' (100 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1500 m)
- Transmit Power: 100 mW (20 dBm) EIRP
- Receiver Sensitivity: -100 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

### Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements  
DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)  
Each direct sequence channel has over 65,000 unique network addresses available  
Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported  
Self-routing, self-healing and fault-tolerant mesh networking

### Low Power

#### XBee

- TX Current: 45 mA (@3.3 V)
- RX Current: 50 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10  $\mu$ A

#### XBee-PRO

- TX Current: 215 mA (@3.3 V)
- RX Current: 55 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10  $\mu$ A

### Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box RF communications

AT and API Command Modes for configuring module parameters

Small form factor

Extensive command set

Free X-CTU Software  
(Testing and configuration software)

**Free & Unlimited Technical Support**

### 1.1.1. Worldwide Acceptance

**FCC Approval** (USA) Refer to Appendix A [p34] for FCC Requirements.

Systems that contain XBee/XBee-PRO RF Modules inherit MaxStream Certifications.

ISM (Industrial, Scientific & Medical) **2.4 GHz frequency band**

Manufactured under **ISO 9001:2000** registered standards

XBee/XBee-PRO RF Modules are optimized for use in **US, Canada, Australia, Israel and Europe** (contact MaxStream for complete list of agency approvals).



## 1.2. Specifications

Table 1-01. Specifications of the XBee/XBee-PRO OEM RF Module (PRELIMINARY)

Specification	XBee	XBee-PRO
<b>Performance</b>		
Indoor/Urban Range	up to 100 ft. (30 m)	Up to 300' (100 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 300 ft. (100 m)	Up to 1 mile (1500 m)
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	60 mW (18 dBm) conducted, 100 mW (20 dBm) EIRP*
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 - 115200 bps (non-standard baud rates also supported)	1200 - 115200 bps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
<b>Power Requirements</b>		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Operating Current (Transmit)	45mA (@ 3.3 V)	If PL=0 (10dBm): 137mA (@3.3V), 139mA (@3.0V) PL=1 (12dBm): 155mA (@3.3V), 153mA (@3.0V) PL=2 (14dBm): 170mA (@3.3V), 171mA (@3.0V) PL=3 (16dBm): 188mA (@3.3V), 195mA (@3.0V) PL=4 (18dBm): 215mA (@3.3V), 227mA (@3.0V)
Operating Current (Receive)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	not supported	not supported
<b>General</b>		
Operating Frequency Band	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector
<b>Networking &amp; Security</b>		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer & Mesh	
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses	PAN ID, Channel and Addresses
<b>Agency Approvals</b>		
United States (FCC Part 15.247)	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
Industry Canada (IC)	4214A XBEE	4214A XBEEPRO
Europe (CE)	ETSI	ETSI (Max. 10 dBm transmit power output)*

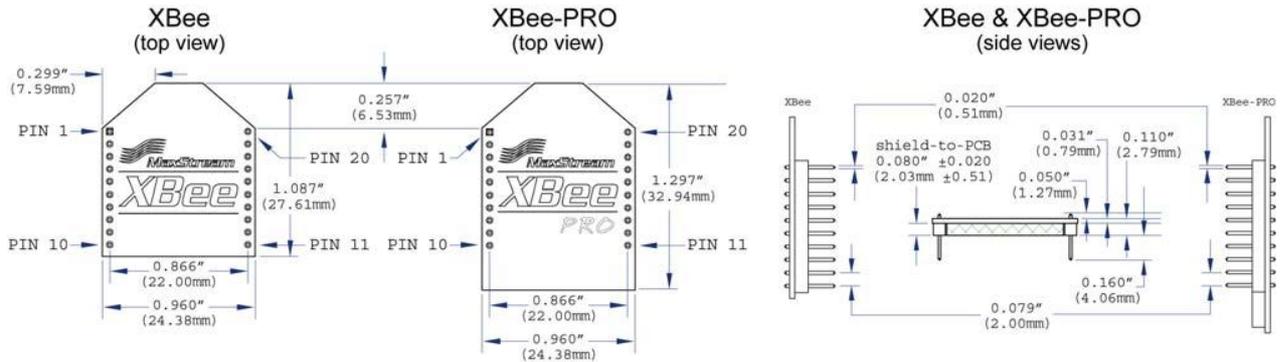
\* When operating in Europe: XBee-PRO RF Modules must be configured to operate at a maximum transmit power output level of 10 dBm. The power output level is set using the PL command. The PL parameter must equal "0" (10 dBm). Additionally, European regulations stipulate an EIRP power maximum of 12.86 dBm (19 mW) for the XBee-PRO and 12.11 dBm for the XBee when integrating high-gain antennas.

Antenna Options: The ranges specified are typical when using the integrated Whip (1.5 dBi) and Dipole (2.1 dBi) antennas. The Chip antenna option provides advantages in its form factor; however, it typically yields shorter range than the Whip and Dipole antenna options when transmitting outdoors. For more information, refer to the "XBee Antenna" application note located on MaxStream's web site (<http://www.maxstream.net/support/knowledgebase/article.php?kb=153>).

### 1.3. Mechanical Drawings

Figure 1-01. Mechanical drawings of the XBee/XBee-PRO OEM RF Modules (antenna options not shown)

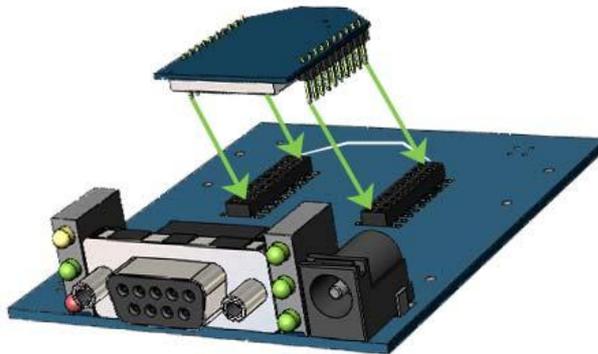
The XBee and XBee-PRO RF Modules are pin-for-pin compatible.



### 1.4. Mounting Considerations

The XBee/XBee-PRO RF Module was designed to mount into a receptacle (socket) and therefore does not require any soldering when mounting it to a board. The XBee Development Kits contain RS-232 and USB interface boards which use two 20-pin receptacles to receive modules.

Figure 1-02. XBee Module Mounting to an RS-232 Interface Board.



The receptacles used on MaxStream development boards are manufactured by Century Interconnect. Several other manufacturers provide comparable mounting solutions; however, MaxStream currently uses the following receptacles:

- Through-hole single-row receptacles - Samtec P/N: MMS-110-01-L-SV (or equivalent)
- Surface-mount double-row receptacles - Century Interconnect P/N: CPRMSL20-D-0-1 (or equivalent)
- Surface-mount single-row receptacles - Samtec P/N: SMM-110-02-SM-S

MaxStream also recommends printing an outline of the module on the board to indicate the orientation the module should be mounted.

## 1.5. Pin Signals

Figure 1-03. XBee/XBee-PRO RF Module Pin Number  
(top sides shown - shields on bottom)

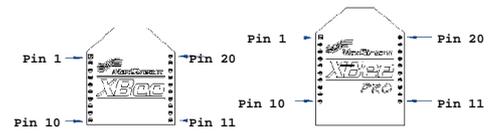


Table 1-02. Pin Assignments for the XBee and XBee-PRO Modules

(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / <b>CONFIG</b>	Input	UART Data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8
5	<b>RESET</b>	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	[reserved]	-	Do not connect
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ* / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4* / DIO4*	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	<b>CTS</b> / DIO7*	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / <b>SLEEP</b>	Output	Module Status Indicator
14	VREF*	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5* / DIO5*	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	<b>RTS*</b> / AD6* / DIO6*	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3* / DIO3*	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2* / DIO2*	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1* / DIO1*	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0* / DIO0*	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

\* Functions not supported at the time of this release.

#### Design Notes:

- Minimum connections: VCC, GND, DOUT & DIN
- Minimum connections for updating firmware: VCC, GND, DIN, DOUT, RTS & DTR
- Signal Direction is specified with respect to the module
- Module includes a 50k  $\wedge$  pull-up resistor attached to **RESET**
- Several of the input pull-ups can be configured using the PE command
- Unused pins should be left disconnected

## 1.6. Electrical Characteristics

Table 1-03. DC Characteristics of the XBee & XBee-PRO (VCC = 2.8 - 3.4 VDC)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typical	Max	Units
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-	0.35 * VCC	V
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage	All Digital Inputs	0.7 * VCC	-	-	V
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage	I <sub>OL</sub> = 2 mA, VCC $\geq$ 2.7 V	-	-	0.5	V
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage	I <sub>OH</sub> = -2 mA, VCC $\geq$ 2.7 V	VCC - 0.5	-	-	V
I <sub>IN</sub>	Input Leakage Current	V <sub>IN</sub> = VCC or GND, all inputs, per pin	-	0.025	1	$\mu$ A
I <sub>IOZ</sub>	High Impedance Leakage Current	V <sub>IN</sub> = VCC or GND, all I/O High-Z, per pin	-	0.025	1	$\mu$ A
TX	Transmit Current	VCC = 3.3 V	-	45 (XBee)    215 (PRO)	-	mA
RX	Receive Current	VCC = 3.3 V	-	50 (XBee)    55 (PRO)	-	mA
PWR-DWN	Power-down Current	SM parameter = 1	-	< 10	-	$\mu$ A

## ANEXO D

### Data Sheet Sensor DS18B29

DS1820

**DALLAS**  
SEMICONDUCTOR

## DS1820 1-Wire™ Digital Thermometer

### FEATURES

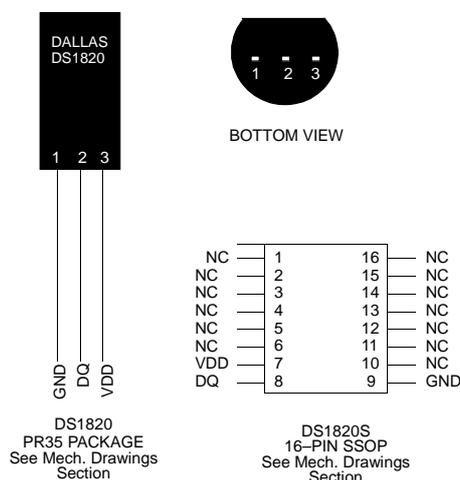
- Unique 1-Wire™ interface requires only one port pin for communication
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line
- Zero standby power required
- Measures temperatures from  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  in  $0.5^{\circ}\text{C}$  increments. Fahrenheit equivalent is  $-67^{\circ}\text{F}$  to  $+257^{\circ}\text{F}$  in  $0.9^{\circ}\text{F}$  increments
- Temperature is read as a 9-bit digital value.
- Converts temperature to digital word in 200 ms (typ.)
- User-definable, nonvolatile temperature alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

### DESCRIPTION

The DS1820 Digital Thermometer provides 9-bit temperature readings which indicate the temperature of the device.

Information is sent to/from the DS1820 over a 1-Wire interface, so that only one wire (and ground) needs to be connected from a central microprocessor to a DS1820. Power for reading, writing, and performing temperature conversions can be derived from the data line itself with no need for an external power source.

### PIN ASSIGNMENT



### PIN DESCRIPTION

GND	–	Ground
DQ	–	Data In/Out
V <sub>DD</sub>	–	Optional V <sub>DD</sub>
NC	–	No Connect

Because each DS1820 contains a unique silicon serial number, multiple DS1820s can exist on the same 1-Wire bus. This allows for placing temperature sensors in many different places. Applications where this feature is useful include HVAC environmental controls, sensing temperatures inside buildings, equipment or machinery, and in process monitoring and control.



**DETAILED PIN DESCRIPTION**

PIN 16-PIN SSOP	PIN PR35	SYMBOL	DESCRIPTION
9	1	GND	<b>Ground.</b>
8	2	DQ	<b>Data Input/Output pin.</b> For 1-Wire operation: Open drain. (See "Parasite Power" section.)
7	3	V <sub>DD</sub>	<b>Optional V<sub>DD</sub> pin.</b> See "Parasite Power" section for details of connection.

DS1820S (16-pin SSOP): All pins not specified in this table are not to be connected.

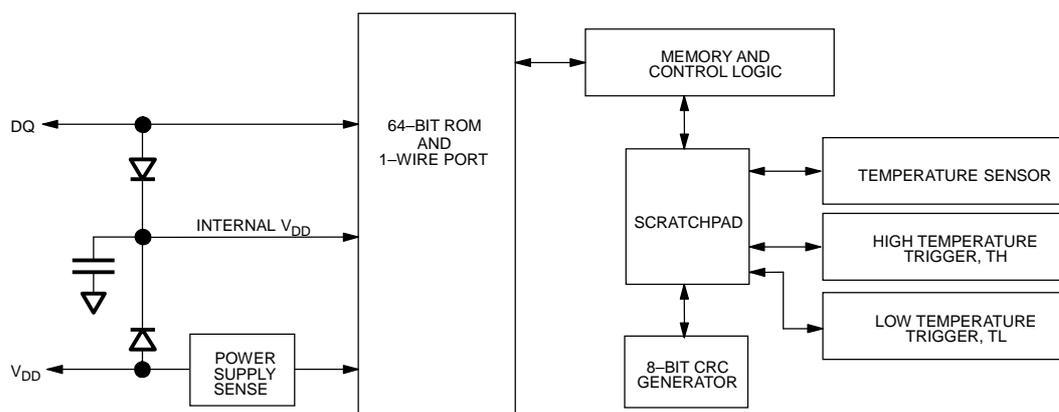
**OVERVIEW**

The block diagram of Figure 1 shows the major components of the DS1820. The DS1820 has three main data components: 1) 64-bit lasered ROM, 2) temperature sensor, and 3) nonvolatile temperature alarm triggers TH and TL. The device derives its power from the 1-Wire communication line by storing energy on an internal capacitor during periods of time when the signal line is high and continues to operate off this power source during the low times of the 1-Wire line until it returns high to replenish the parasite (capacitor) supply. As an alternative, the DS1820 may also be powered from an external 5 volts supply.

Communication to the DS1820 is via a 1-Wire port. With the 1-Wire port, the memory and control functions will not be available before the ROM function protocol has been established. The master must first provide one of five ROM function commands: 1) Read ROM, 2) Match ROM, 3) Search ROM, 4) Skip ROM, or 5) Alarm Search. These commands operate on the 64-bit lasered ROM portion of each device and can single out

a specific device if many are present on the 1-Wire line as well as indicate to the Bus Master how many and what types of devices are present. After a ROM function sequence has been successfully executed, the memory and control functions are accessible and the master may then provide any one of the six memory and control function commands.

One control function command instructs the DS1820 to perform a temperature measurement. The result of this measurement will be placed in the DS1820's scratchpad memory, and may be read by issuing a memory function command which reads the contents of the scratchpad memory. The temperature alarm triggers TH and TL consist of one byte EEPROM each. If the alarm search command is not applied to the DS1820, these registers may be used as general purpose user memory. Writing TH and TL is done using a memory function command. Read access to these registers is through the scratchpad. All data is read and written least significant bit first.

**DS1820 BLOCK DIAGRAM** Figure 1

### PARASITE POWER

The block diagram (Figure 1) shows the parasite powered circuitry. This circuitry “steals” power whenever the I/O or  $V_{DD}$  pins are high. I/O will provide sufficient power as long as the specified timing and voltage requirements are met (see the section titled “1-Wire Bus System”). The advantages of parasite power are two-fold: 1) by parasiting off this pin, no local power source is needed for remote sensing of temperature, and 2) the ROM may be read in absence of normal power.

In order for the DS1820 to be able to perform accurate temperature conversions, sufficient power must be provided over the I/O line when a temperature conversion is taking place. Since the operating current of the DS1820 is up to 1 mA, the I/O line will not have sufficient drive due to the 5K pull-up resistor. This problem is particularly acute if several DS1820's are on the same I/O and attempting to convert simultaneously.

There are two ways to assure that the DS1820 has sufficient supply current during its active conversion cycle. The first is to provide a strong pull-up on the I/O line whenever temperature conversions or copies to the  $E^2$  memory are taking place. This may be accomplished by using a MOSFET to pull the I/O line directly to the power supply as shown in Figure 2. The I/O line must be switched over to the strong pull-up within 10  $\mu$ s maximum after issuing any protocol that involves copying to the  $E^2$  memory or initiates temperature conversions. When using the parasite power mode, the  $V_{DD}$  pin must be tied to ground.

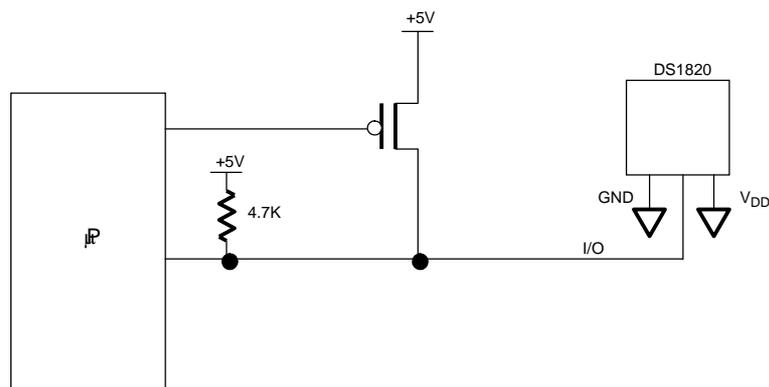
Another method of supplying current to the DS1820 is through the use of an external power supply tied to the

$V_{DD}$  pin, as shown in Figure 3. The advantage to this is that the strong pull-up is not required on the I/O line, and the bus master need not be tied up holding that line high during temperature conversions. This allows other data traffic on the 1-Wire bus during the conversion time. In addition, any number of DS1820's may be placed on the 1-Wire bus, and if they all use external power, they may all simultaneously perform temperature conversions by issuing the Skip ROM command and then issuing the Convert T command. Note that as long as the external power supply is active, the GND pin may not be floating.

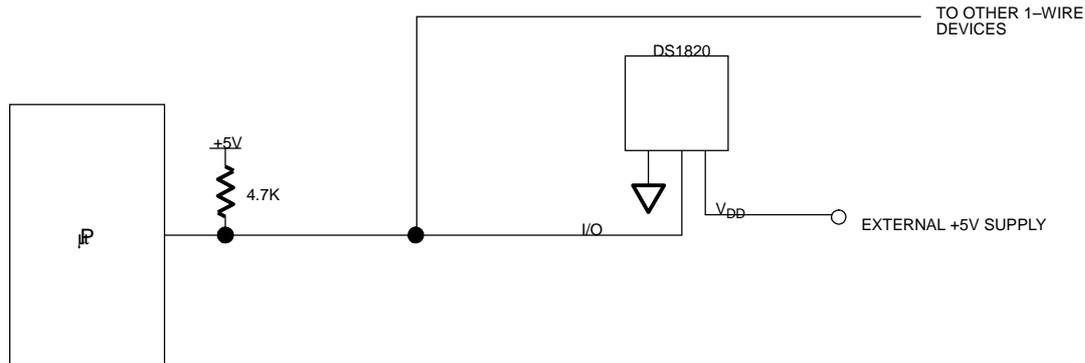
The use of parasite power is not recommended above 100°C, since it may not be able to sustain communications given the higher leakage currents the DS1820 exhibits at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that  $V_{DD}$  be applied to the DS1820.

For situations where the bus master does not know whether the DS1820's on the bus are parasite powered or supplied with external  $V_{DD}$ , a provision is made in the DS1820 to signal the power supply scheme used. The bus master can determine if any DS1820's are on the bus which require the strong pull-up by sending a Skip ROM protocol, then issuing the read power supply command. After this command is issued, the master then issues read time slots. The DS1820 will send back “0” on the 1-Wire bus if it is parasite powered; it will send back a “1” if it is powered from the  $V_{DD}$  pin. If the master receives a “0”, it knows that it must supply the strong pull-up on the I/O line during temperature conversions. See “Memory Command Functions” section for more detail on this command protocol.

### STRONG PULL-UP FOR SUPPLYING DS1820 DURING TEMPERATURE CONVERSION Figure 2



### USING $V_{DD}$ TO SUPPLY TEMPERATURE CONVERSION CURRENT Figure 3



#### OPERATION – MEASURING TEMPERATURE

The DS1820 measures temperature through the use of an on-board proprietary temperature measurement technique. A block diagram of the temperature measurement circuitry is shown in Figure 4.

The DS1820 measures temperature by counting the number of clock cycles that an oscillator with a low temperature coefficient goes through during a gate period determined by a high temperature coefficient oscillator. The counter is preset with a base count that corresponds to  $-55^{\circ}\text{C}$ . If the counter reaches zero before the gate period is over, the temperature register, which is also preset to the  $-55^{\circ}\text{C}$  value, is incremented, indicating that the temperature is higher than  $-55^{\circ}\text{C}$ .

At the same time, the counter is then preset with a value determined by the slope accumulator circuitry. This circuitry is needed to compensate for the parabolic behavior of the oscillators over temperature. The counter is then clocked again until it reaches zero. If the gate period is still not finished, then this process repeats.

The slope accumulator is used to compensate for the non-linear behavior of the oscillators over temperature, yielding a high resolution temperature measurement. This is done by changing the number of counts necessary for the counter to go through for each incremental degree in temperature. To obtain the desired resolution, therefore, both the value of the counter and the number of counts per degree C (the value of the slope accumulator) at a given temperature must be known.

Internally, this calculation is done inside the DS1820 to provide  $0.5^{\circ}\text{C}$  resolution. The temperature reading is

provided in a 16-bit, sign-extended two's complement reading. Table 1 describes the exact relationship of output data to measured temperature. The data is transmitted serially over the 1-Wire interface. The DS1820 can measure temperature over the range of  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  in  $0.5^{\circ}\text{C}$  increments. For Fahrenheit usage, a lookup table or conversion factor must be used.

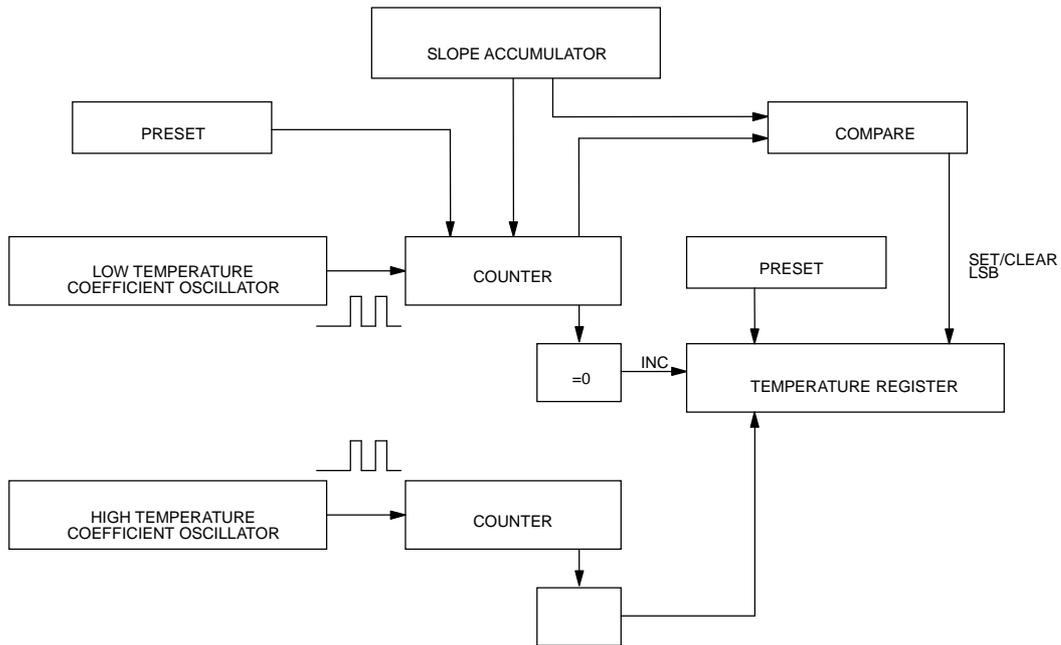
Note that temperature is represented in the DS1820 in terms of a  $1/2^{\circ}\text{C}$  LSB, yielding the following 9-bit format:

MSB	1	1	1	0	0	1	1	1	0	LSB
= $-25^{\circ}\text{C}$										

The most significant (sign) bit is duplicated into all of the bits in the upper MSB of the two-byte temperature register in memory. This "sign-extension" yields the 16-bit temperature readings as shown in Table 1.

Higher resolutions may be obtained by the following procedure. First, read the temperature, and truncate the  $0.5^{\circ}\text{C}$  bit (the LSB) from the read value. This value is TEMP\_READ. The value left in the counter may then be read. This value is the count remaining (COUNT\_REMAIN) after the gate period has ceased. The last value needed is the number of counts per degree C (COUNT\_PER\_C) at that temperature. The actual temperature may be then be calculated by the user using the following:

$$\text{TEMPERATURE} = \text{TEMP\_READ} - 0.25 \frac{(\text{COUNT\_PER\_C} - \text{COUNT\_REMAIN})}{\text{COUNT\_PER\_C}}$$

**TEMPERATURE MEASURING CIRCUITRY** Figure 4

**TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIPS** Table 1

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	00000000 11111010	00FA
+25°C	00000000 00110010	0032h
+1/2°C	00000000 00000001	0001h
+0°C	00000000 00000000	0000h
-1/2°C	11111111 11111111	FFFFh
-25°C	11111111 11001110	FFCEh
-55°C	11111111 10010010	FF92h

Latacunga, Junio del 2010

DS1820

**ELABORADO POR:**

---

William Patricio Tigse Bravo

**APROBADO POR:**

---

Ing. Armando Álvarez S.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
ESPECIALIDAD INSTRUMENTACIÓN

**CERTIFICADO POR:**

---

Dr. Eduardo Vásquez

SECRETARIO ACADÉMICO