

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



Diseño de una red de comunicación inalámbrica de medidores eléctricos de estado sólido utilizando el conjunto de protocolos ZigBee

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Juan Manuel Alemán Vásquez

Cartago, Febrero de 2011

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN**

TRIBUNAL EVALUADOR

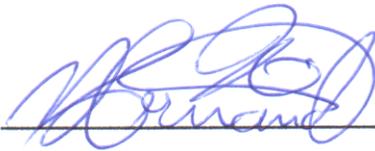
Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. José Faustino Montes de Oca
Murillo

Profesor lector



Ing. Néstor Hernández Hostaller

Profesor lector



Ing. Roberto Pereira Arrollo

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 28 de febrero de 2011

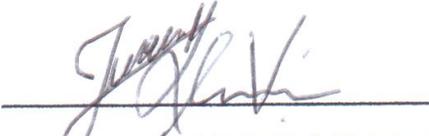
Declaración de autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 28 de febrero de 2011



Juan Manuel Alemán Vásquez
Cédula: 1-1114-0465

Resumen

En la actualidad se desarrollan sistemas para el ahorro energético alrededor del mundo debido a la escases de energía que comienza a hacerse evidente. En los últimos años se han venido creando sistemas para el ahorro eficiente de energía, como parte de ello existe un desarrollo en el mundo de infraestructuras avanzadas de medición (AMI) en las que se tiene un mayor control del consumo de energía mediante medidores inteligentes que almacenan todo tipo de información relevante y la cual está disponible en todo momento para que tanto el proveedor de energía como los clientes administren mejor el uso de la energía.

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) ha comenzado a modernizar su infraestructura hacia este nuevo modelo, adquiriendo medidores inteligentes y montando un sistema automático de lectura remota (AMR) con diferentes tecnologías de comunicación. En el presente proyecto se pretende implementar una red inalámbrica en radiofrecuencia utilizando el protocolo estándar ZigBee, además, esta red incorpora una puerta de enlace a internet para conectarse remotamente a las computadoras del ICE y así crear un canal de comunicación transparente entre cada uno de los medidores de la red y un software especializado que se encarga de realizar la lectura dispositivo desde una computadora remota.

Palabras clave: medidor inteligente, sistema automático de lectura remota (AMR), infraestructura avanzada de medición (AMI), red inalámbrica, ZigBee.

Abstract

Nowadays there are system developments for energy savings around the world because of the energy shortage. In the last years had been developing systems for the efficient energy saving, as part of that there is an advance metering infrastructure (AMI) developing in which exists a better managing of the energy consumption using smart meters that records all kind of relevant information and is available at all times for both electric power provider and clients so they could manage energy use.

The Costa Rican Institute of Electricity (ICE) has started to upgrade his infrastructure to a new model, acquiring smart meters and setting up an automatic meter reading (AMR) using different communication technologies. In this project is to implement a wireless radiofrequency network using the standard ZigBee, also, this network incorporates an internet gateway to connect remotely with a CPU belonging to the ICE, and so, creates a transparent communication channel between each meter in the network and a specialized software which is responsible for making the reading of the device from a remote computer.

Keywords: smart meter, AMR, AMI, wireless network, ZigBee.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mis padres que me ayudaron y apoyaron durante toda la carrera, y a mi abuela que siempre deseó lo mejor para mí. Muchas gracias.

Agradecimiento

Agradezco a los ingenieros Jorge Trigueros y Felipe Corriols del Laboratorio de Medidores del ICE por darme la oportunidad de realizar este proyecto y a los técnicos del laboratorio que fueron de gran ayuda. También agradezco al Ing. Bernal Solano por darme consejos que me ayudaron a sacar adelante este proyecto.

Finalmente agradezco a mis profesores en el TEC por haberme brindado ayuda cuando la necesité.

Índice general

Tribunal evaluador	I
Declaración de autenticidad.....	II
Resumen	III
Abstract.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento	VI
Índice general	VII
Índice de figuras.....	XI
Índice de tablas	XVI
Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Problema de la lectura de medidores.....	1
1.2 Solución seleccionada.....	2
Capítulo 2 Meta y Objetivos.....	6
2.1 Meta.....	6
2.2 Objetivo general.....	6
2.3 Objetivos específicos	6
Capítulo 3 Marco teórico.....	7
3.1 Descripción del proceso de lectura de medidores en el ICE.....	7
3.2 Antecedentes Bibliográficos.....	10
3.3 Descripción de los principales principios electrónicos relacionados con el diseño de la red inalámbrica de medidores utilizando el protocolo ZigBee	11
3.3.1 Comunicación inalámbrica.....	11

3.3.1.1	Línea de vista y zona de Fresnel	11
3.3.2	Banda ISM.....	13
3.3.3	Redes inalámbricas de área personal (WPAN).....	13
3.3.4	ZigBee.....	14
3.3.4.1	Estándar IEEE 802.15.4	14
3.3.4.2	Capas del conjunto de protocolos ZigBee	15
3.3.4.3	Tipos de dispositivos	16
3.3.5	Ad-hoc on demand vector protocol (AODV)	17
3.3.6	Espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS)	19
3.3.7	Protocolo Ethernet	20
3.3.8	RS-485.....	20
Capítulo 4 Procedimiento metodológico.....		22
4.1	Reconocimiento y definición del problema de la lectura de medidores.....	22
4.2	Obtención y análisis de información.....	23
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	23
4.4	Implementación de la red inalámbrica utilizando el protocolo ZigBee	25
4.5	Reevaluación y rediseño	28
Capítulo 5 Descripción detallada del diseño e implementación de la red inalámbrica de medidores eléctricos utilizando ZigBee.....		29
5.1	Análisis de soluciones y selección final	29
5.1.1	Transmisión inalámbrica	29
5.1.2	Conexión con el medidor	30
5.1.3	Identificación de cada nodo.....	30
5.1.4	Conexión con Ethernet.....	31
5.1.5	Implementación en el campo.....	32

5.2	Descripción del hardware.....	34
5.2.1	Módulo “nodo”.....	35
5.2.1.1	Módulo “comunicación” del diagrama de tercer nivel del “nodo”.....	36
5.2.1.2	Módulo “control” del diagrama de tercer nivel del “nodo”.....	38
5.2.1.3	Módulo “medidor” del diagrama de tercer nivel del “nodo”.....	44
5.2.2	Módulo “concentrador con salida a internet”.....	46
5.2.2.1	Módulo “comunicación” del diagrama de tercer nivel del “concentrador”.....	46
5.2.2.2	Módulo “control” del diagrama de tercer nivel del “concentrador”.....	47
5.2.2.3	Módulo “servidor web” del diagrama de tercer nivel del “concentrador”.....	50
5.2.3	Módulo “programador de nodos”.....	53
5.3	Descripción del software.....	55
5.3.1	Módulo “nodo”.....	55
5.3.1.1	Módulo “comunicación” del diagrama de tercer nivel del “nodo”.....	55
5.3.1.2	Módulo “control” del diagrama de tercer nivel del “nodo”.....	57
5.3.2	Módulo “concentrador”.....	67
5.3.2.1	Módulo “comunicación” del diagrama de tercer nivel del “concentrador”.....	67
5.3.2.2	Módulo “control” del diagrama de tercer nivel del “concentrador”.....	69
5.3.2.3	Módulo “servidor web” del diagrama de tercer nivel del “concentrador”.....	75
5.3.3	“Metercat” programa para la lectura de medidores.....	81
Capítulo 6 Análisis de Resultados.....		82
6.1	Resultados.....	82
6.2	Análisis de resultados.....	94
Capítulo 7 Conclusiones y recomendaciones.....		100
7.1	Conclusiones.....	100
7.2	Recomendaciones.....	101

Bibliografía.....	103
A. Apéndice	105
A.1 Glosario, abreviaturas y simbología.....	105
A.2 Manual de usuario	111
A.2.1 Configuración del concentrador.....	111
A.2.2 Configuración de los nodos.....	116
A.2.3 Página web	121
A.2.4 Lectura del medidor.....	126
A.3 Información sobre el Instituto Costarricense de Electricidad	130
A.3.1 Descripción de la empresa.....	130
A.3.2 Descripción del Laboratorio de medidores	130
B. Anexos	131
B.1 Hoja de datos del XBee	131
B.2 Hoja de datos del PIC-WEB	134
B.3 Hoja de datos del PIC18F26J11	139
B.4 Hoja de datos del LTC1480.....	142
B.5 Hoja de datos del MAX232.....	144
Fórmulas	146

Índice de figuras

Figura 1.1	Diagrama de bloques de primer nivel.....	3
Figura 1.2	Diagrama de segundo nivel de módulo “red inalámbrica”.....	3
Figura 1.3	Diagrama de bloques de tercer nivel del módulo “nodo”.....	4
Figura 1.4	Diagrama de bloques de tercer nivel del módulo “Concentrador con salida a Internet.....	4
Figura 3.1	Diagrama de flujo para el proceso de creación del reporte de facturación.....	9
Figura 3.2	Zonas de Fresnel entre transmisor y receptor.....	12
Figura 3.3	Pila de protocolos ZigBee.....	16
Figura 3.4	Proceso para encontrar la mejor ruta entre dos nodos mediante el protocolo AODV.....	18
Figura 3.5	Comparación en densidad espectral de potencia entre una señal de banda estrecha original y la señal resultante modulada en secuencia directa.....	20
Figura 3.6	Red de controladores RS-485 full-duplex de 4 hilos.....	21
Figura 4.1	Topología de red de malla.....	24
Figura 4.2	Medidor interrogado con repetidores intermedios.....	27
Figura 5.1	Dispositivos XBee con distintas clases de antena.....	29
Figura 5.2	Dispositivo PIC-WEB.....	32
Figura 5.3	Diagrama de bloques de primer nivel.....	34
Figura 5.4	Diagrama de bloques de segundo nivel de módulo “red inalámbrica”. Topología de malla.....	35
Figura 5.5	Diagrama de bloques de segundo nivel para la programación del módulo nodo.....	35
Figura 5.6	Diagrama de bloques de tercer nivel del módulo “nodo”.....	36
Figura 5.7	Dispositivo XBee utilizado como módulo de comunicación.....	36
Figura 5.8	Conexión del módulo XBee con un microcontrolador.....	39
Figura 5.9	Número de identificación ICE de un medidor Alpha A3.....	39
Figura 5.10	Conexión entre microcontrolador y programador de nodos.....	40

Figura 5.11	Conexión del microcontrolador con driver RS-485	40
Figura 5.12	Conexión para configurar controlador RS-485 full duplex.....	41
Figura 5.13	Prototipo circuito nodo	42
Figura 5.14	Esquemático del circuito “Nodo”.....	43
Figura 5.15	Medidor Alpha A3 de Elster.....	44
Figura 5.16	Cable de conexión al puerto RS-485 del medidor Alpha A3.....	44
Figura 5.17	Configuración del cable RS-485 del medidor	45
Figura 5.18	Diagrama de bloques de tercer nivel del módulo “Concentrador con salida a Internet”	46
Figura 5.19	Conexión del microcontrolador al controlador RS-232	48
Figura 5.20	Esquemático del circuito concentrador.....	49
Figura 5.21	Prototipo módulo concentrador	50
Figura 5.22	Tarjeta de desarrollo PIC-WEB	51
Figura 5.23	Esquemático de la tarjeta de desarrollo PIC WEB	52
Figura 5.24	Conexión del PIC-WEB con circuito concentrador	53
Figura 5.25	Diagrama de bloques de tercer nivel del módulo “programador de nodos”. 53	
Figura 5.26	Esquemático del “programador de nodos”	54
Figura 5.27	Prototipo programador de nodos.....	54
Figura 5.28	Dispositivos XBee explorer Serial, utilizado para conectar el XBee al CPU 55	
Figura 5.29	Ventana principal del programa X-CTU.....	56
Figura 5.30	Ventana para programar el XBee.....	57
Figura 5.31	Diagrama de flujo del programa principal	59
Figura 5.32	Algoritmo para procesar datos recibidos del medidor.....	60
Figura 5.33	Algoritmo para procesar los datos recibidos del XBee	62
Figura 5.34	Algoritmo para programar el identificador de nodo.....	64
Figura 5.35	Interrupción de transmisión	65
Figura 5.36	Interrupción de recepción.....	66

Figura 5.37	Ventana para programar el XBee.....	68
Figura 5.38	Configuración del tiempo de envío de mensajes de solicitud de ruta a 3 minutos (180 segundos)	68
Figura 5.39	Diagrama de flujo del programa principal	70
Figura 5.40	Algoritmo para procesar los datos recibidos del PIC-WEB.....	71
Figura 5.41	Algoritmo para procesar los datos recibidos del XBee	74
Figura 5.42	Interrupción de Timer 0.....	75
Figura 5.43	Diagrama de flujo del programa principal	76
Figura 5.44	Algoritmo tarea puente UART - TCP	78
Figura 5.45	Ventana principal de la página web.....	79
Figura 5.46	Algoritmo para manejar la página web	80
Figura 6.1	Ventana principal de la página web vista con un navegador web.....	82
Figura 6.2	Secuencia para obtener la lista de medidores.....	83
Figura 6.3	Lista de medidores mostrando desconexión de medidores en la red	84
Figura 6.4	Secuencia para borrar una entrada de la lista de medidores.....	85
Figura 6.5	Secuencia para hacer conexión con otro medidor.....	86
Figura 6.6	Transmisión de 255 bytes vía TCP/IP	87
Figura 6.7	Recepción de 255 bytes vía RS-232	88
Figura 6.8	Recepción de 255 bytes vía TCP/IP.....	88
Figura 6.9	Transmisión de 255 bytes vía RS-232	89
Figura 6.10	El Metercat identifica un medidor Alpha A3 y se encuentra listo para comenzar la lectura	89
Figura 6.11	El Metercat interroga al medidor	90
Figura 6.12	Finaliza satisfactoriamente la lectura del medidor	90
Figura 6.13	Ventana principal del Metercat al finalizar la lectura del medidor	91
Figura 6.14	Archivo PRN obtenido del medidor a través del Metercat.....	91
Figura 6.15	Reporte de facturación final	92

Figura 6.16	Ruta hacia el nodo 86A6 a través del nodo C73B	93
Figura 6.17	Ruta hacia el nodo 86A6 a través del nodo FF76.....	94
Figura 6.18	Estructura de trama registro de ruta (tipo de trama: A1).....	99
Figura A.1	Conexión del XBee utilizando el XBee explorer serial.....	111
Figura A.2	Configuración del XBee como coordinador ZigBee modo API	112
Figura A.3	Cambio de NI, AR, BD.....	113
Figura A.4	Menú de configuración del PIC-WEB.....	114
Figura A.5	Cambio de la IP, puerta de enlace y máscara de subred.....	114
Figura A.6	Conexión del PIC-WEB con circuito concentrador	115
Figura A.7	PIC-WEB conectado a la red mediante un RJ-45	115
Figura A.8	Configuración del XBee como router ZigBee modo API.....	116
Figura A.9	Cambio de BD	117
Figura A.10	Cable de conexión al puerto RS-485 del medidor Alpha A3.....	118
Figura A.11	Conexión del medidor al circuito nodo.	118
Figura A.12	Número de identificación ICE de un medidor Alpha A3.....	119
Figura A.13	Conexión del programador de nodos a un nodo	119
Figura A.14	Mensaje inicial	120
Figura A.15	Programando el identificador del nodo.....	120
Figura A.16	Nodo programado con el identificador 001101014.....	121
Figura A.17	Ventana principal de la página web	122
Figura A.18	Lista de medidores en la red.....	123
Figura A.19	Medidor a borrar	124
Figura A.20	Medidor borrado	124
Figura A.21	Escoger el medidor a interrogar.....	125
Figura A.22	Medidor conectado: 400000000.....	125
Figura A.23	Ventana principal del Metercat	126

Figura A.24	Creando una conexión TCP/IP	127
Figura A.25	Escogiendo una conexión TCP/IP	127
Figura A.26	Seleccionando la dirección IP de la conexión TCP/IP	127
Figura A.27	El Metercat identifica un medidor Alpha A3 y se encuentra listo para comenzar la lectura	128
Figura A.28	El Metercat interroga al medidor	129
Figura A.29	Finaliza satisfactoriamente la lectura del medidor.....	129

Índice de tablas

Tabla 3.1 Entradas de la tabla de enrutamiento de cada nodo pertenecientes a la ruta R1-R6.....	19
Tabla 5.1 Relación de cantidad de datos de transmisión entre diferentes dispositivos y distintas configuraciones.....	34

Capítulo 1 Introducción

En el siguiente capítulo se explicará el problema que encuentra el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) para dar una rápida respuesta a clientes industriales cuando éstos solicitan un reporte del consumo de energía, y cómo un sistema inalámbrico con protocolo abierto es una opción viable como sistema de medición remota de medidores eléctricos.

1.1 Problema de la lectura de medidores

Hoy en día las empresas buscan la forma de administrar el consumo de energía para así lograr un ahorro, esto es muy importante para las empresas de alto consumo de energía, que requieren consultar constantemente su consumo.

Las empresas deben solicitar al ICE el reporte del consumo de energía cada vez que necesitan esta información. El ICE puede tardar desde unas horas hasta varios días para entregar un reporte de facturación dependiendo de si el medidor instalado tiene la opción de hacer una lectura remota o no.

El reporte de facturación consta de:

- Consumo de energía.
- Consumo de demanda.
- Factor de potencia.
- Curva de carga (opcional).
- Diagrama fasorial (opcional).

Este proceso significa una pérdida de recursos, tanto para el ICE como la empresa en cuestión. El ICE, en caso de tener que hacer la lectura directa, debe enviar a una persona para hacerlo, luego de la visita se debe proceder al análisis de la información y elaboración del reporte. La compañía no obtiene la información en el momento oportuno, lo que la imposibilita a llevar un control de consumo y tomar las acciones necesarias para el ahorro de energía.

En los últimos años el ICE ha ido adquiriendo medidores con diferentes tecnologías de lectura remota para lograr bajar el tiempo de obtención de datos, entre estas tecnologías que utilizan se pueden encontrar medidores con puertos RS-485, RS-232, modem telefónico, comunicación por la línea de alimentación (PLC por sus siglas en inglés), y Ethernet, todos de un alto costo. Los medidores mayormente utilizados hasta ahora para clientes industriales (Clase 20) han sido los que tienen modem telefónico y RS-485, éste último pueden enviar la información de forma remota a través de un convertidor serial a Ethernet, y por módem telefónico, mientras que para clientes residenciales se utiliza PLC.

El ICE busca más eficientes y económicas tecnologías de comunicación con los medidores para realizar las lecturas remotas y que se adapten mejor a los diferentes entornos, por ejemplo, zonas urbanas e industriales o subestaciones.

1.2 Solución seleccionada

Para la solución se requiere aprovechar el equipo en buen estado con que cuenta el ICE, utilizando los medidores Alpha A3 con una tarjeta de comunicación RS-485, el cual el personal del ICE no aprovecha en su totalidad para realizar mediciones remotas, y de esta manera modificarlos de forma que la comunicación se realice mediante transmisión inalámbrica, que tiene la ventaja de que no requerir cables para la conexión a una red, además que el equipo puede ser desplazado sin necesidad de realizar otra acción.

Además, debido a que la información que se obtiene del medidor viene encriptada, sólo programas de aplicación especializados pueden tener acceso e interrogar al medidor. Entre los medios de comunicación disponibles utilizados alrededor del mundo para realizar la interrogación se encuentran: RS-232, RS-485, Ethernet, telefonía celular, módem telefónico, óptico, entre otros.

Se plantea diseñar una red de comunicación inalámbrica con los medidores, teniendo un punto de concentración de la información con una puerta de enlace a

Cada elemento de la red es llamado nodo, se utilizará la topología de malla en la que cada nodo se comunica solo con los más cercanos a él. La figura 1.3 muestra el diagrama de bloques para el módulo “nodo”, que se observa en la figura 1.2.

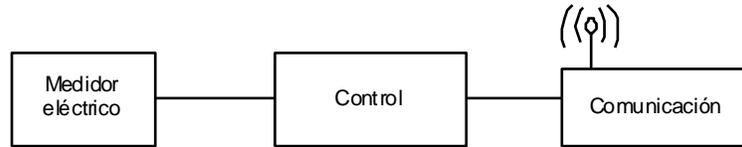


Figura 1.3 Diagrama de bloques de tercer nivel del módulo “nodo”

Como se observa en la figura 1.3, cada nodo posee el medidor eléctrico, un módulo de control, y un módulo de comunicación.

El medidor eléctrico es el ALPHA A3 de Elster, con puerto de salida RS-485.

El módulo de control es el encargado de desencapsular las tramas provenientes del módulo de comunicación y transmitir los datos de la trama por el puerto RS-485 conectado al medidor, así como encapsular los datos provenientes del medidor para que sean enviados por el módulo de comunicación al concentrador de la red.

El módulo de comunicación es un dispositivo Zigbee, encargado de hacer los enlaces de los nodos de la red en forma inalámbrica, generando una tabla con posibles rutas hacia el destino final.

En la figura 1.1 también se observa el módulo de “Concentrador con salida a Internet” cuyo diagrama de bloques es el siguiente.

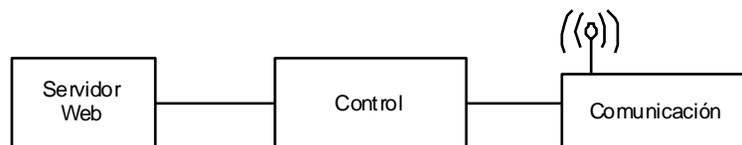


Figura 1.4 Diagrama de bloques de tercer nivel del módulo “Concentrador con salida a Internet”

El módulo “Concentrador con salida a Internet” es la puerta a la red inalámbrica, éste conecta la red con internet y funciona como servidor web, donde se guarda la página web desde la cual el usuario realiza la conexión de un medidor específico perteneciente a la red. Este sistema se encuentra en un punto fijo dentro del área de cobertura de la red donde exista una terminal de red RJ-45 con una dirección IP disponible.

El módulo “Control” de la figura 1.4, se encarga de concentrar la información obtenida de un medidor remoto en la red que será enviada hacia internet. Éste recibe del módulo de comunicación las tramas de información encapsulada, obtiene de la trama los datos recibidos y los encapsula en tramas Ethernet para ser enviadas por internet. Además este módulo guarda una tabla con las rutas más cortas hacia cada uno de los nodos de la red.

El módulo de comunicación es un dispositivo Zigbee, encargado de hacer los enlaces de los nodos de la red en forma inalámbrica, generando una tabla con las rutas hacia cada uno de los nodos de la red.

La página web alojada en el módulo “Servidor”, puede ser accesada por personal autorizado que necesita la información. En esta página se muestra la lista de los medidores que se encuentran en red, además indica cuales medidores se encuentran conectados a la red y con cuáles se ha perdido comunicación debido a alguna interferencia temporal o un problema en la red.

De esta manera el usuario puede escoger cuál medidor desea interrogar y además ver cuándo un medidor presenta problemas de conexión dentro de la red.

Una vez escogido el medidor, se realiza una interrogación con el software Metercat, a través del puerto Ethernet para obtener los datos para ser procesados.

Capítulo 2 Meta y Objetivos

2.1 Meta

Encontrar un medio de comunicación eficiente y de bajo costo para realizar la lectura remota de medidores industriales clase 20.

2.2 Objetivo general

Diseñar una red de comunicación inalámbrica con protocolo Zigbee de medidores eléctricos de estado sólido con una puerta de enlace a internet. El canal de comunicación es transparente y conecta el software Metercat con el medidor a interrogar, el cual es escogido a través de una página web.

2.3 Objetivos específicos

1. Diseñar una red de comunicación inalámbrica de 10 medidores Alpha A3, expandible a 30 medidores, donde se envían los datos extraídos de los medidores a un único punto colector de información.
2. Utilizar el protocolo de comunicación estándar Zigbee para la red de comunicación inalámbrica, que permita encontrar la mejor ruta, que sea a prueba de fallos y auto escalable, con capacidad para 30 nodos.
3. Implementar un punto de conexión entre la red de comunicación inalámbrica e internet.
4. Desarrollar una página web como interfaz para que el usuario tenga un informe del estado de la red.
5. Desarrollar una página web como interfaz para que el usuario escoja cual medidor de la red requiere interrogar.
6. Crear un canal de comunicación transparente entre el software de interrogación remota Metercat y los medidores pertenecientes a la red.

Capítulo 3 Marco teórico

3.1 Descripción del proceso de lectura de medidores en el ICE

La UEN Servicio al Cliente cuenta con la dependencia llamada Área de Medición y Seguridad la cual coordina los procesos de medición y seguridad a nivel nacional, cuenta con el Laboratorio de Medidores en Colima de Tibás, donde se realiza el mantenimiento y calibración de los medidores eléctricos pertenecientes al ICE, y donde se realizará este proyecto.

La dependencia se encarga de la lectura y facturación de grandes clientes y generadores de energía eléctrica, también se tienen a cargo los sistemas de lectura remota (AMR), con los que obtienen los datos que guarda el medidor (potencia activa y potencia aparente), desde el laboratorio, sin tener que desplazarse hasta donde se encuentra instalado el mismo.

Para el proceso de lectura y facturación el ICE ha venido utilizando equipos de medición con opción de lectura remota desde hace unos 20 años. Inicialmente se utilizaban unos pocos solo para grandes consumidores pero con el tiempo ha aumentado su uso, llevándolos incluso hacia el sector comercial y residencial.

Los equipos para clientes industriales se han desarrollado para registrar múltiples variables eléctricas en memorias de estado sólido. Para la facturación de grandes consumidores es necesario que el medidor cuente con una base de datos donde se registran perfiles de carga, esto quiere decir que el medidor debe guardar cada 15 minutos al menos dos datos, la potencia activa (kW) y la potencia aparente (kVA), con esto también se determinan las energías consumidas. El registro de estas variables en forma de perfil permite la aplicación de tarifas de tiempo de uso y, adicionalmente se pueden entregar curvas de carga en caso de que el cliente lo solicite, para mantener una buena administración de su demanda.

Sin embargo para que el cliente obtenga la información que requiere hay una pérdida considerable de tiempo pues necesita informar al departamento para que le hagan el reporte de datos, posteriormente el personal encargado en el

departamento para hacer esto, deben realizar la medición del medidor requerido, del cual no siempre se puede extraer la información de forma remota por lo que se tiene que enviar al personal a que realice la medición donde se encuentra ubicado el medidor. Una vez que la información es llevada al departamento, se realizan los cálculos necesarios para hacer el reporte y posteriormente es enviada al cliente; este procedimiento puede tardar varios días.

El ICE ha ido adquiriendo equipo de medición para ser interrogado de forma remota y que cuente con registro de perfil de carga, generalmente con puertos de comunicación por modem telefónico y RS-485 como es el caso del medidor Alpha A3 de Elster, éste ha sido el modelo más reciente adquirido para la facturación de industrias.

El problema que se presenta al utilizar estos medidores es que en varios lugares no existen líneas telefónicas por donde pueda ser interrogado el medidor, una opción que se ha ido aplicando es la de hacer una red alambrada de medidores por medio del puerto RS-485 y con una salida a internet utilizando un dispositivo convertidor de serial a Ethernet, este sistema se utiliza generalmente en subestaciones, pues en lugares abiertos es difícil la implementación.

Por estas razones no se puede aprovechar el sistema de comunicación para realizar la lectura remota, y se debe de hacer de forma directa, enviando a una persona a realizar la conexión entre el puerto óptico del medidor y el puerto serial de una computadora portátil a través de un cable especial.

La figura 3.1 muestra el diagrama de bloques del proceso de facturación de cada cliente que posea un medidor Alpha A3.:

La interrogación del medidor ya sea de forma remota o conectada directamente a una computadora se realiza mediante un software especial debido a que la información del medidor viene encriptada, en el caso de los medidores Alpha A3 se utiliza el Metercat, a partir del archivo obtenido mediante este software, se crea el reporte de facturación que es enviado posteriormente al solicitante.

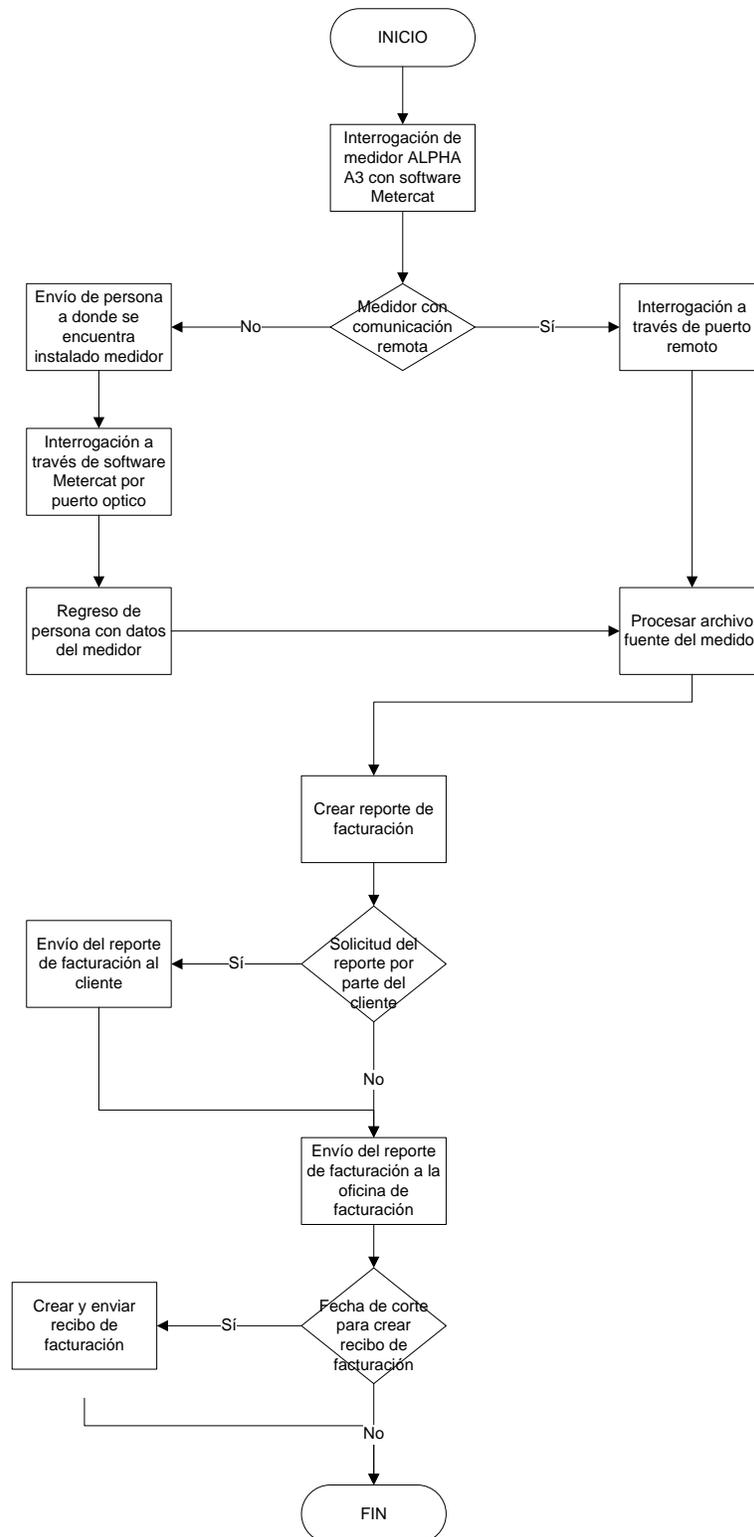


Figura 3.1 Diagrama de flujo para el proceso de creación del reporte de facturación

3.2 Antecedentes Bibliográficos

En el mercado ya existen equipos de medición remota con opciones de comunicación GSM, GPRS, Ethernet, radiofrecuencia, PLC, 3G y recientemente con puertos de comunicación Zigbee, pero el ICE no ha podido adquirirlos debido a limitaciones de presupuesto, además que cuentan con muchos medidores en buen estado con puertos RS-232, RS-485 y módem telefónico que están siendo utilizados sin ningún problema.

Para el área industrial, el ICE ha ido adquiriendo equipo de medición para ser interrogado de forma remota y que cuente con registro de perfil de carga. Uno de los medidores más viejos es el QUANTUM, de finales de los años 80, éste puede ser interrogado remotamente utilizando una línea telefónica. Otro medidor usado para clientes industriales es el Alpha A2 de Elster (antes ABB), el cual uno de sus modelos también cuenta con una tarjeta de módem para interrogarlo por la línea telefónica, esto se logra utilizando un software especializado, en caso del Elster se utiliza el Alpha Plus, y del Quantum es el Mini-Master. Estos medidores además cuentan con un puerto óptico que se conecta al puerto serial del CPU a través de un cable especial para realizar la lectura directamente del medidor.

Recientemente se han adquirido los medidores Alpha A3 de Elster, una versión mejorada del Alpha A2, cuentan con puertos de modem telefónico y RS-485, el software de interrogación es el Metercat.

Este es un esfuerzo por el ICE para emigrar hacia un sistema de lectura automática de medición (AMR por sus siglas en inglés), el área residencial es la que más avance ha tenido gracias a la compra de gran cantidad de medidores con comunicación por la línea de alimentación (PLC por sus siglas en inglés).

En el sector industrial ha habido poco avance, sólo se tienen algunos medidores conectados a una línea telefónica aportada por el cliente, o en algunos casos se monta una red por puerto RS-485 conectada a un dispositivo convertidor de serial a Ethernet, donde mediante el software especializado (por ejemplo el Metercat), se interroga cada medidor de la red.

Cada medidor clase 20 (para industria) tipo Alpha A3 con memoria interna de 1Mb y con 2 puertos de comunicación, uno el módem telefónico y el otro RS-485 le ha costado al ICE alrededor de \$800.

3.3 Descripción de los principales principios electrónicos relacionados con el diseño de la red inalámbrica de medidores utilizando el protocolo ZigBee

3.3.1 Comunicación inalámbrica

La comunicación inalámbrica se basa en la propiedad de propagación de la onda electromagnética en el espacio. La onda tiene una oscilación llamada frecuencia y la distancia entre dos máximos o mínimos se denomina longitud de onda.

Un circuito eléctrico conectado a una antena apropiada tiene la capacidad de generar ondas electromagnéticas que se propagan en el espacio. A través de estas ondas es posible enviar información por métodos de modulación ya sea de amplitud, frecuencia o fase.

En las radiocomunicaciones se denomina espectro de radiofrecuencia o RF a las frecuencias de onda que van desde 3Hz (ELF) a los 300GHz (EHF), el cual es el rango de frecuencias de transmisión inalámbricas.

El uso de estos rangos de frecuencia está regulado por organismos internacionales, por lo que para la mayor parte del rango se requiere una licencia para operar, sin embargo existen rangos en los que no se necesita una licencia, por lo que se prefieren utilizar para dispositivos de corto alcance.

3.3.1.1 Línea de vista y zona de Fresnel

Para que exista un enlace estable a largas distancias en zonas abiertas, se requiere que exista una línea de visión sin obstáculos entre los dispositivos de comunicación (línea de vista), a frecuencias superiores a 900 MHz, no puede haber un enlace estable si existen obstáculos entre las antenas transmisora y receptora en su zona de Fresnel.

Se le llama zona de Fresnel al volumen de espacio entre el emisor y el receptor de una onda electromagnética en donde el desfase de las ondas en ese volumen no supere los 180° .

Así, la línea recta que une al emisor y al receptor se considera la fase mínima, 0° , la primera zona de Fresnel abarca hasta que la fase llegue a 180° , formándose un elipsoide. La segunda zona abarca hasta que haya un desfase de 360° , formando un elipsoide mayor que contiene al primero, teóricamente formando una cantidad infinita de elipsoides cada uno abarcando al anterior, como se observa en la figura 3.2.

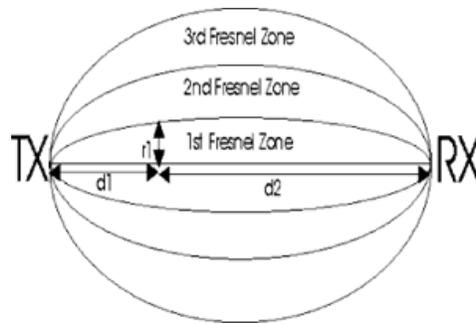


Figura 3.2 Zonas de Fresnel entre transmisor y receptor

Al existir obstáculos, por ejemplo el suelo, se producen rebotes, éstos pueden contribuir positiva o negativamente a la recepción de la señal en caso de que lleguen en fase o en contrafase respectivamente.

De esta manera Fresnel define las zonas que contribuyen positivamente a la propagación de la onda como las impares y las que contribuyen negativamente, las pares. Además, la primera zona concentra el 50% de la potencia de la señal, por este motivo se establece que para que exista un enlace estable se requiere que la obstrucción máxima sea de un 20%.

Para establecer las zonas de Fresnel se debe determinar primero la línea de vista de RF, que es la línea recta que une las antenas transmisora y receptora.

Para aplicaciones prácticas, se utiliza la ecuación para encontrar el máximo radio de la primera zona de Fresnel. La ecuación para el cálculo del radio máximo de la primera zona de Fresnel es:

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D}{4f}} \quad (3.1)$$

Donde:

r = radio en metros.

D = distancia total en kilómetros.

f = frecuencia de transmisión en gigahertz.

3.3.2 Banda ISM

La banda ISM (Industrial, Scientific and Medical), es la banda de radiofrecuencia reservada para las áreas industrial, científica y médica. Actualmente han sido utilizadas para su uso en redes WLAN (Red inalámbrica de área local), por ejemplo Wi-Fi, o en redes WPAN (Red inalámbrica de área personal) como lo es el Bluetooth.

Para el uso de esta banda no se necesita licencia, sólo se debe respetar las regulaciones de potencia de transmisión definidas por al ITU (International Telecommunication Union).

3.3.3 Redes inalámbricas de área personal (WPAN)

La WPAN es una red de área personal para interconectar distintos dispositivos computacionales y de comunicación (computadoras, puntos de acceso a internet, PDA, teléfonos, impresoras, etc), inicialmente se pensó para comunicaciones a corta distancia, alrededor de 10 metros.

Una de las principales características de estas redes es el poder comunicar dos dispositivos WPAN como si estuvieran conectados por cable, ya sea a distancias

cortas de varios metros, o distancias de unos pocos kilómetros de un servidor central. Además provee alta seguridad, al bloquear otros equipos no autorizados que intenten conectarse a él.

Este concepto ha ido evolucionando al incluir mayor cantidad de dispositivos (como equipos de medición) que se conectan utilizando tecnologías de bajo consumo y bajo costo,

Estándares como el Bluetooth y ZigBee se han ido desarrollando bajo este esquema.

3.3.4 ZigBee

ZigBee es un conjunto de protocolos de comunicación inalámbrica basada en el estándar IEEE 802.15.4 perteneciente a las redes inalámbricas de área personal (WPAN).

Es un sistema de comunicación digital inalámbrica con una baja tasa de transferencia y un bajo consumo de energía, además que provee una conexión segura para el envío de datos (encriptación de datos).

Es una tecnología más sencilla y más barata que otras redes WPAN como por ejemplo Bluetooth.

Una red ZigBee puede tener hasta un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos cada una.

Los niveles más bajos del modelo OSI, el nivel físico y el de control de acceso al medio (MAC, parte del nivel de enlace de datos DLL) son definidos por el estándar IEEE 802.15.4.

3.3.4.1 Estándar IEEE 802.15.4

Es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal (WPAN) que presentan bajas tasas de transmisión de datos, la actual revisión fue realizada en 2006.

Las características de transmisión del medio físico, incluye especificaciones de sensibilidad de recepción, potencia de transmisión, número de canales, velocidad de transmisión, tipo de modulación.

Utiliza la banda ISM, específicamente los rangos 868 MHz en Europa, 915 MHz en Estados Unidos y 2.4 GHz en todo el mundo y tiene una velocidad de hasta 250kbps, utiliza de 14 a 16 canales.

Se utiliza el método de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS) para lograras tasas de transmisión de datos de hasta 250 kbps en la banda de los 2.4 GHz, mientras que en bandas inferiores se logran velocidades de 40 kbps y hasta 250 kbps para la revisión del 2006. Se especifica el método de modulación en fase binaria (binary phase shift keying, BPSK) o por cuadratura en offset (offset quadrature phase shift keying, OQPSK).

En lo que respecta al control de acceso al medio, transmite tramas MAC utilizando el canal físico, funciona como una interfaz de control, regula el acceso al medio utilizando el protocolo de acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones (CSMA/CA). Controla la validación de tramas y maneja las transacciones de datos de RF punto a punto entre nodos cercanos.

3.3.4.2 Capas del conjunto de protocolos ZigBee

- Capa física: define las características de transmisión del medio físico, incluye especificaciones de sensibilidad de recepción, potencia de transmisión, número de canales, velocidad de transmisión, tipo de modulación. Estas especificaciones se basan en el estándar IEEE 802.15.4, al igual que la capa MAC.
- Capa de control de acceso al medio (MAC): maneja las transacciones de datos de RF punto a punto entre nodos cercanos. Incluye servicios como retransmisión de datos, manejo de mensaje de reconocimiento (acknowledgement), así como técnicas para la evasión de colisiones (CSMA/CA).

- Capa de red: añade capacidad para el enrutamiento de datos, permite que los paquetes viajen a través de múltiples nodos (saltos) para llegar a su destino (redes de malla). Se utiliza el algoritmo de red ad-hoc on demand distance vector (AODV), vector de distancia bajo demanda.
- Capa soporte de aplicación: es una capa de aplicación donde se define la forma en que el nodo funciona (tipo de dispositivo), filtra paquetes a nivel de aplicación, mantiene la relación de grupos y dispositivos con el que la aplicación interactúa y simplifica el envío de datos a los diferentes nodos de la red.
- ZigBee Device Objects: es otra capa de aplicación que provee características de servicios y descubrimiento de dispositivos y capacidades avanzadas de administración de la red.

La figura 3.3 muestra la pila de protocolos ZigBee.

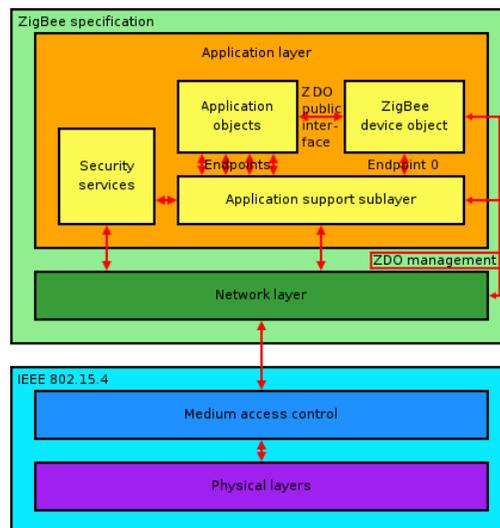


Figura 3.3 Pila de protocolos ZigBee

3.3.4.3 Tipos de dispositivos

Los dispositivos ZigBee pueden clasificarse en tres tipos dependiendo de su función en la red:

- **Coordinador:** se encarga de formar la red, selecciona el canal de transmisión, da un identificador de red PAN, asigna una dirección de red de 16 bits a cada dispositivo que se una a la red, selecciona las políticas de seguridad. Además puede enrutar paquetes, comunicarse con otros dispositivos, permite que otros dispositivos se unan a la red, y solo puede haber un coordinador por cada red ZigBee.
- **Router:** una vez que se una a la red puede permitir que otros dispositivos se unan a la red, también enruta paquetes de datos y es capaz de comunicarse con dispositivos de otras redes.
- **End Device (dispositivo final):** igual que un router, primero debe unirse a una red, una vez hecho esto puede comunicarse con otros dispositivos de la red, sin embargo no puede enrutar paquetes a otros dispositivos pero está siempre en comunicación con su nodo padre (un coordinador o router).

Los protocolos ZigBee pueden formar redes con topologías punto a punto, punto a multipunto y red en malla (mesh).

3.3.5 Ad-hoc on demand vector protocol (AODV)

Este es un protocolo de enrutamiento para redes inalámbricas ad-hoc, donde cada nodo está preparado para funcionar como repetidor, además que puede decidir en forma dinámica hacia qué nodo enviar la información dependiendo de la disponibilidad de los dispositivos cercanos. Es el protocolo utilizado para crear redes mesh inalámbricas.

Este protocolo crea rutas sólo en el momento que va a haber una transmisión y cada nodo intermedio guarda una tabla de enrutamiento con el próximo “salto” (siguiente nodo) a donde debe ser dirigido en paquete.

Para encontrar la mejor ruta a un nodo destino el nodo fuente envía un paquete broadcast solicitando una ruta a un nodo destino (Route Request), con el identificador del nodo fuente, el nodo destino, un número identificación (ID) y la cantidad de saltos del paquete broadcast, cuando el siguiente nodo recibe el

mensaje verifica si ya le había llegado el paquete con anterioridad, verifica el nodo fuente, nodo destino y su ID, si éste último es mayor del que tenía en su tabla, el paquete se considera nuevo y es procesado, si el ID es igual significa que ya había sido recibido y no lo reenvía; luego se verifica el destino del paquete, si el nodo es el destino, envía una respuesta al nodo fuente (Route Reply), de lo contrario es retransmitido a todos los nodos (broadcast) y se aumenta en uno la cantidad de saltos del paquete, en caso de que un nodo reciba un paquete con una cantidad de saltos menor, es reemplazado por el anterior pues se considera una ruta más corta, también se escoge la mayor potencia de transmisión de los nodos para escogerlos como la ruta más corta.

El paquete se retransmite hasta llegar al nodo destino, una vez alcanzado éste, envía un paquete Route Reply al nodo fuente, a través del nodo anterior que reenvió el Route Request, que guardó en su tabla de enrutamiento, el cual pertenece a la ruta más corta, de esta manera el nodo fuente recibe la dirección (identificador de cada nodo) de la ruta más corta al nodo destino.

Si el nodo fuente utiliza la ruta más corta guardada en su tabla y no se encuentra el nodo destino se envía un mensaje de error (Route Error) al nodo fuente, el cual inicia nuevamente el proceso de Route Request para encontrar otra ruta al nodo destino, y si vuelve a recibir el mensaje de error, da por terminada la conexión con el nodo destino.

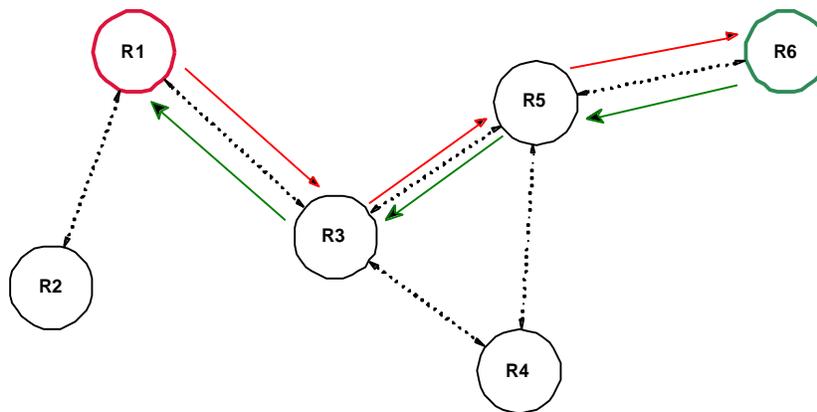


Figura 3.4 Proceso para encontrar la mejor ruta entre dos nodos mediante el protocolo AODV

En la figura 3.4 se observa una red mesh, con el nodo R1 como fuente y R6 como destino. Se muestra con la línea punteada la transmisión broadcast, la línea verde representa el paquete Route Reply, y la línea roja la ruta seleccionada.

Tabla 3.1 Entradas de la tabla de enrutamiento de cada nodo pertenecientes a la ruta R1-R6.

Nodo	Dirección de destino	Dirección de próximo salto
R1	R6	R3
R3	R6	R5
R5	R6	R6

3.3.6 Espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS)

El espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS) es un método de modulación de la técnica de espectro ensanchado utilizada en telecomunicaciones para transmitir datos digitales por radiofrecuencia.

La técnica de espectro ensanchado se basa en el ensanchamiento de la banda de frecuencias de la señal a transmitir, mucho más amplia que el ancho de banda mínimo requerido para transmitir la información que se requiere enviar. Tiene la ventaja que puede coexistir con señales de banda estrecha pues una vez ensanchada la señal sólo suma un pequeño incremento en el ruido.

En el espectro ensanchado por secuencia directa una portadora de banda estrecha se modula mediante una secuencia pseudoaleatoria (una secuencia de números aleatorios que se repite en el tiempo), de esta forma se aumenta el ancho de banda de la transmisión y se reduce la densidad de potencia espectral (el nivel de potencia en cualquier frecuencia dada). El resultado es una señal parecida al ruido.

El incremento del ensanchado depende de la tasa de bits de la secuencia pseudoaleatoria por bit de información y sólo a los receptores a los que el emisor haya enviado previamente la secuencia podrán decodificar la señal original.

Una vez aplicada la secuencia pseudoaleatoria, el estándar IEEE802.15.4 define dos tipos de modulación para la técnica de DSSS, la modulación BPSK, y OQPSK.

La figura 3.5 muestra la comparación en densidad espectral de potencia entre la señal en banda estrecha original y la señal resultante modulada con una técnica de secuencia directa que será transmitida al medio.

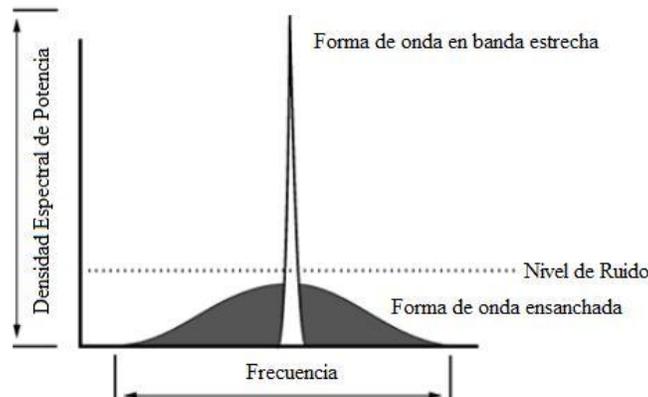


Figura 3.5 Comparación en densidad espectral de potencia entre una señal de banda estrecha original y la señal resultante modulada en secuencia directa

3.3.7 Protocolo Ethernet

Es el más común de las redes de área local (LAN) y es una tecnología de redes ampliamente aceptada con conexiones disponibles para PC's, estaciones de trabajo científicas de alto desempeño, mini computadoras y otras.

El puerto Ethernet es conocido bajo el estándar IEEE 802.3 CSMA/CD y fue adoptado por la Organización Internacional de Estandarización (ISO), haciendo de él un estándar de redes internacional.

Ethernet proporciona servicios correspondientes al Nivel 1 y Nivel 2 del modelo de OSI.

3.3.8 RS-485

Es un estándar de comunicaciones de la capa física del Modelo OSI.

Está definido como un sistema de bus de transmisión multipunto. Se puede transmitir a altas velocidades (35 Mbps hasta 10 metros y 100 kbps a 1200 metros).

Utiliza el método de diferencia de voltajes entre dos líneas, lo que lo hace bastante inmune al ruido en la línea de transmisión.

El medio físico es un par entrelazado en el que se pueden conectar hasta 32 nodos, las conexiones pueden ser tanto half-duplex como full-duplex.

Una configuración típica de una red RS-485 half-duplex utiliza 2 hilos conductores como bus de transmisión y recepción, mientras que para una comunicación full-duplex, se necesitan 4 hilos, dos para transmisión y dos para recepción, como se observa en la figura 3.6.

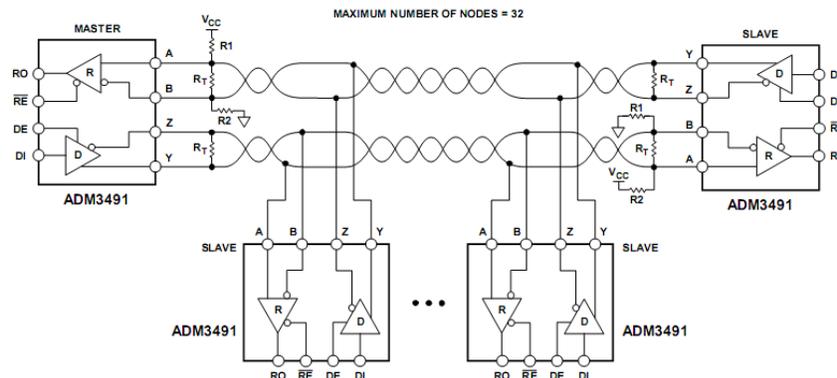


Figura 3.6 Red de controladores RS-485 full-duplex de 4 hilos

Capítulo 4 Procedimiento metodológico

4.1 Reconocimiento y definición del problema de la lectura de medidores

Desde hace varios años el ICE ha ido desarrollando una estructura para la lectura remota de medidores eléctricos, residenciales e industriales.

Los ingenieros de Laboratorio de Medidores habían considerado la posibilidad de utilizar medidores con sistemas de comunicación en radiofrecuencia sin embargo ahora su prioridad es el proyecto de medidores residenciales con sistema de comunicación PLC para zonas rurales o conflictivas, por lo que no tienen presupuesto para trabajar en el área de comunicaciones por radiofrecuencia.

Sin embargo, gracias a la posibilidad de que un estudiante pudiera desarrollar un proyecto a pequeña escala de este sistema, se propuso realizarlo.

Se pensó en la utilización de un sistema inalámbrico de radiofrecuencia debido a la ventaja de que para realizar la comunicación no se necesita hacer ningún tipo de cableado, los medidores solo se instalan y estarían listos para transmitir información, lo cual lo hace un sistema ideal para implementarlo sobre todo en áreas abiertas.

Por no haber mucho presupuesto se decidió utilizar equipo que el ICE ya posee, además que como en el área residencial ya se estaba trabajando con los medidores PLC, se pensó en utilizar medidores para el área industrial (clase 20), que incorporaran sistemas de comunicación cableada como lo es el puerto RS-485, ya que el ICE cuenta con una gran cantidad de estos medidores cuyo valor, rondan los \$800 y que casi no se utilizan para hacer lecturas remotas, teniendo que mandar a una persona a hacer la lectura manual.

También el sistema de comunicación a desarrollar debía ser de bajo coste.

4.2 Obtención y análisis de información

Los ingenieros y técnicos del Laboratorio de Medidores facilitaron información para comprender el proceso de lectura remota de medidores. Mostraron la forma en que realizan dicha lectura con los equipos con los que cuentan, diferentes tipos de medidores con diferentes tecnologías de comunicación remota discutidas anteriormente.

Además proporcionaron información de las diferentes clases de software especializado con el que realizan la lectura del medidor, por ejemplo el Alpha Plus, Minimaster, y software más nuevo como el Metercat o Prime Read.

A partir de estos programas se interroga el medidor para obtener el archivo fuente para generar el reporte de facturación que necesitan los clientes y la oficina de facturación del ICE.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

En las primeras discusiones con el personal del ICE se pensó en realizar una pequeña red inalámbrica de unos 12 medidores, expandible hasta unos 30 medidores, que tuviera un punto de conexión directa con las computadoras del Laboratorio de Medidores, por lo que se evaluó la idea de tener un punto de salida a internet por medio de Ethernet, pues se necesitaría solo una dirección IP que el mismo ICE puede aportar.

Después se dio a la tarea de buscar un lugar idóneo para implementar el sistema. Como se debía implementar en un lugar donde hubieran varios medidores de tipo industrial en un área abierta se pensó en una zona franca, una zona industrial donde hubieran varios medidores cercanos. Se buscó una zona donde los medidores no estuvieran a más de 100 metros de distancia el uno del otro para así utilizar dispositivos de baja potencia y por ende más económicos, por lo que se determinó que la zona franca BES cumplía con los requerimientos.

Al inspeccionar la zona y luego de consultar a profesores de la escuela de Ingeniería Electrónica del ITCR, se llegó a la conclusión de que la topología de red tipo estrella era la que se necesitaba como topología de red lógica, pero para la implementación física era mejor una red en que la salida a Ethernet pudiera estar en cualquier punto de la red y en donde los nodos no necesariamente estuvieran adyacentes al concentrador, sino que los mismos nodos funcionaran como repetidores, por lo que la mejor alternativa sería la topología de red física tipo malla (mesh), como se muestra en la figura 4.1.

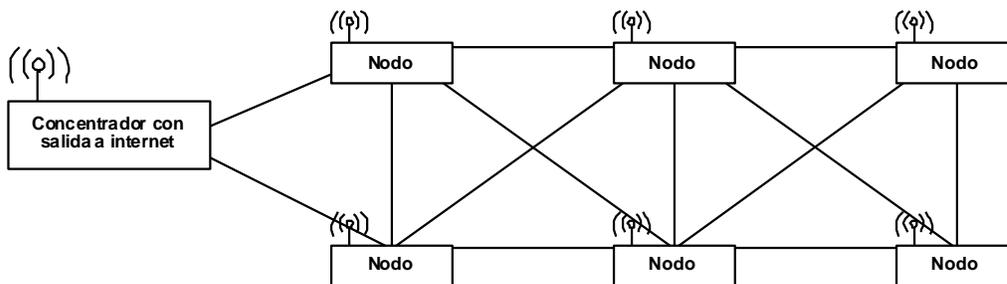


Figura 4.1 Topología de red de malla

Para realizar este tipo de red se necesitaba también determinar un protocolo de comunicación para la red de comunicación inalámbrica, que permitiera encontrar la mejor ruta, que sea a prueba de fallos y autoescalable, con capacidad para 30 nodos.

Buscando en internet se encontraron dos alternativas, utilizar transceptores simples y crear el protocolo para la transmisión y enrutamiento o utilizar dispositivos que integran protocolos de transmisión y para crear redes de tipo malla.

De este último tipo se encontró el dispositivo XBee de Digi, transceptor que integra los protocolos de transmisión inalámbrica ZigBee, que soporta redes tipo malla.

Varias fueron las razones para escoger este dispositivo, entre ellas que es un sistema estándar, con lo que se puede integrar a la red cualquier dispositivo de

cualquier marca siempre y cuando maneje el protocolo ZigBee, así, si en un futuro se logra adquirir un medidor con esta tecnología integrada, se puede también agregar a la red ya establecida. Además, integra protocolos para el enrutamiento de datos y soporta redes tipo malla, y tiene la opción de encriptación de los datos. También existen dos tipos de dispositivo que sólo se diferencian por la potencia de transmisión por lo que si se requiere cubrir mayores distancias nada más se debe de reemplazar el transceptor XBee por la versión XBee Pro de mayor alcance.

Por último, un transceptor de baja potencia de alta velocidad tiene un costo de \$37.50, mientras que un dispositivo Xbee, de baja potencia, cuesta \$42, una diferencia monetaria muy poca en comparación con las grandes diferencias de funcionalidad que presentan.

Por otro lado, al analizar el proceso de interrogación del medidor con el software, se averiguó que los datos del están encriptados, por lo que nada más el software propietario y otros desarrolladores independientes que han descifrado la encriptación, pueden comunicarse con el medidor, lo que hace que se adopte el plan de hacer un canal de transmisión transparente entre cada uno de los medidores y el software de interrogación.

4.4 Implementación de la red inalámbrica utilizando el protocolo ZigBee

Los dispositivos XBee adquiridos integran protocolos para transmisión en red y seguridad, sin embargo para controlarlos se necesita un dispositivo de control, el dispositivo recomendado para controlar el transceptor es un microcontrolador, ya que el XBee se controla a través de un puerto de comunicación UART a tensiones de 3.3 voltios, igual al que utilizan los microcontroladores con tecnología CMOS.

Además, como el puerto de comunicación del medidor es el RS-485, se necesita que el dispositivo controlador también logre convertir los datos de RS-485 al protocolo de transmisión utilizado en los XBee y viceversa, por lo que se requiere

un microcontrolador con dos puertos UART, se escoge el microcontrolador PIC18F26J11, de Microchip, que cumple con esas características.

También se determinó que se iba a utilizar una página web para observar el estado de la red, esto es, cuales medidores conforman la red, con cuales se tiene comunicación constante, y cuales han perdido conexión por algún motivo, para así determinar si existe un desperfecto o si la desconexión fue momentánea por alguna interferencia temporal.

Se aprovecharía también la página web para que el usuario pueda escoger de forma manual el medidor que se quiere interrogar.

Con estos objetivos se determinó que se necesitaba un dispositivo que funcionara como puente entre una transmisión serial, UART y Ethernet, que además funcionara como servidor web para almacenar la funcionalidades descritas anteriormente.

El dispositivo seleccionado fue la tarjeta PIC-WEB de Olimex, basada en un microcontrolador PIC18F67J60 con el programa preinstalado del TCP/IP Stack de Microchip, software que proporciona los protocolos de internet, entre ellos, HTTP y TCP/IP, haciendo funcionar al dispositivo como un servidor web. Además que la tarjeta incorpora una comunicación serial por RS-232 con la que se puede comunicar con el controlador del transceptor. Vale destacar que el controlador del transceptor no se integró a la tarjeta web, para que ésta se dedicara exclusivamente a la parte de conexión a internet, mientras que el otro dispositivo está en control del XBee todo el tiempo.

Una vez montados varios nodos y el concentrador, se comenzó a hacer pruebas de comunicación, así se conectaron en un principio dos computadoras con puerto serial y a través de los dispositivos inalámbricos, y se enviaron paquetes de datos ASCII para ver si todos los datos enviados de un lado se recibían del otro.

Se hicieron varias modificaciones hasta lograr enviar y recibir series de paquetes de hasta 1024 caracteres ASCII.

Una vez logrado este objetivo se procedió a conectar al nodo un medidor, y el concentrador conectado a la red Ethernet interna del laboratorio. Así, desde una computadora con el software Metercat instalado, se procedió a leer el medidor a través del puerto Ethernet del Metercat, obteniendo el archivo fuente del medidor.

Posteriormente se conectaron varios nodos con su respectivo medidor, a distancias de varias decenas de metros del concentrador, donde unos nodos salían del rango de comunicación del concentrador, teniendo que enrutar los datos a través de nodos repetidores, se logró obtener lectura de los medidores con rutas de hasta 2 repetidores intermedios., como lo muestra la figura 4.2.

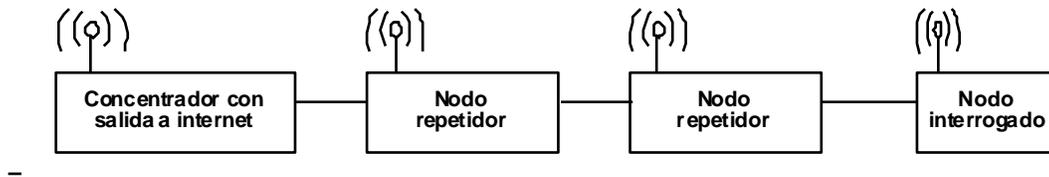


Figura 4.2 Medidor interrogado con repetidores intermedios

Los dispositivos XBee tienen una opción en que se le envían comandos y el dispositivo responde, uno de esos comandos es para que el XBee devuelva el valor de potencia de la última señal recibida del nodo emisor más cercano, (si la transmisión se hace a través de repetidores, el valor obtenido es el del último repetidor y no del total del trayecto).

Mediante este método se hicieron pruebas en las que se demuestra que es factible hacer la red en la zona franca escogida, en casi todos los puntos donde se encuentra un medidor instalado hay cobertura, y en los puntos donde por obstáculos o por distancias no se puede llegar, se determinó que se puede poner un punto repetidor (un transceptor solo, sin medidor), para llegar al medidor.

Por esta razón se cambió el objetivo de interconectar 12 medidores, y se planeó utilizar dos de estos puntos como repetidores solamente, quedando un sistema de 9 nodos con medidor conectado, 2 repetidores, y 1 concentrador.

4.5 Reevaluación y rediseño

La red inalámbrica está diseñada para aguantar hasta 30 nodos, por lo que a futuro se pueden añadir más medidores con comunicación ZigBee.

Como está el sistema actualmente, estos nodos comprenden los nodos con medidor y los repetidores, sin embargo se puede variar el programa para que el sistema esté comprendido por 30 medidores sin contar los repetidores.

De esta manera, si un medidor se sale del área de cobertura de la red se pueden agregar los repetidores necesarios para lograr integrarlo a la red.

Otra mejora que se le puede dar al sistema es intercambiar los transceptores XBee por XBee Pro, que solo se diferencian porque la potencia de transmisión es mayor, logrando alcanzar distancias de hasta 1.5 km mientras que los XBee tienen alcance de hasta 100 m, y otra ventaja es que puede haber una mezcla de estos dos tipos de dispositivo, pues funcionan con los mismos protocolos.

También por el tipo de protocolo estándar, se pueden conectar a la red medidores o cualquier clase de dispositivo (para crear infraestructuras avanzadas de medición) de diferentes marcas.

Otra mejora a implementar es que la escogencia del medidor a leer se puede hacer directamente con el software de interrogación y no sólo de forma manual como se contempla hasta ahora. Esto con el objetivo de poder crear un verdadero sistema de AMR (lectura automática de medidores), pues en el software se programa la hora de lectura y los dispositivos a leer y el sistema lo realiza automáticamente.

Capítulo 5 Descripción detallada del diseño e implementación de la red inalámbrica de medidores eléctricos utilizando ZigBee.

5.1 Análisis de soluciones y selección final

5.1.1 Transmisión inalámbrica

La topología de malla mostrada en la figura 4.1 es la más indicada cuando se requiere hacer una red cuyos elementos se encuentran dispersos al azar en un área específica. Así, el dispositivo concentrador puede encontrarse en cualquier punto de la red, y, en el caso de este proyecto, un medidor puede estar colocado a una distancia mayor que la que cubre el dispositivo concentrador, pero siempre puede tener comunicación con éste, gracias a que los otros dispositivos conectados al medidor pueden funcionar como repetidores.

Se escogieron los transceptores XBee Serie 2, como dispositivos de comunicación inalámbrica por las ventajas de integrar protocolos estándar de comunicación por radiofrecuencia en la banda ISM de 2.4GHz, por lo que no se requiere el desarrollo de un protocolo de red. Los dispositivos pueden configurarse de una forma que se cree una red de malla. Su bajo precio, comparado con otros transceptores también lo hizo idóneo para realizar este proyecto.

Existen transceptores XBee de baja y alta potencia de transmisión, 2mW y 50mW respectivamente (para la Serie 2), pero que son compatibles entre ellos, mantienen la misma cantidad y asignación de pines.

La figura 5.1 muestra dispositivos XBee con las diferentes antenas que se pueden conseguir tanto para la versión normal como para la Pro.

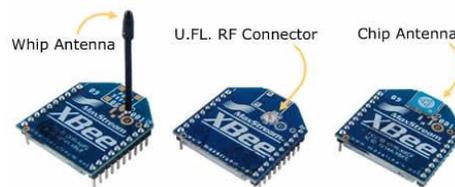


Figura 5.1 Dispositivos XBee con distintas clases de antena

El primero con antena monopolo, el segundo con espacio para un conector coaxial de RF para conectar antenas de alta ganancia (tipo dipolo, yagi, omnidireccional, panel plano), y con antena tipo chip.

El mayor alcance se logra utilizando antenas de alta ganancia, hasta 120 metros, sin embargo, por limitaciones en el presupuesto, se determinó el utilizar el dispositivo con antena monopolo integrada, pues con la otra se debía gastar también en la compra de la antena dipolo. La antena monopolo tiene menor alcance, menos de 100 metros, pero suficiente para los alcances del proyecto, y por eso es la escogida. La menos eficiente es la antena integrada tipo chip, que sólo se utiliza cuando hay requerimientos limitados de espacio.

Los dispositivos que contienen protocolos para crear redes de malla son a partir de la Serie 2, existen varios fabricantes de estos dispositivos, entre ellos Maxtream y Digi, estos últimos fueron los utilizados en el proyecto.

Cada uno de estos dispositivos se puede programar para que funcionen como un coordinador, router o end point, además de configurar distintas características como la velocidad de transmisión de la UART, políticas de seguridad, control de entradas y salidas digitales, entre otras.

5.1.2 Conexión con el medidor

Los medidores a utilizar, Alpha A3 de Elster, disponen de un puerto de comunicación RS-485 configurado por el fabricante a 19200 bps. Para lograr habilitar una comunicación entre el transceptor y el medidor se requirió buscar un dispositivo con dos puertos de comunicación para mantener conexión con el XBee y el medidor, por lo que se busca un microcontrolador que entre sus características tuviera dos puertos UART.

5.1.3 Identificación de cada nodo

Se necesita que cada nodo de la red pueda ser identificado, por lo que se decide que cada nodo debe ser programado con un identificador. El identificador escogido es el propio número de identificación del medidor que le programa el ICE. Así nace

la necesidad de crear un circuito para programar cada nodo y de modificar el circuito correspondiente a un nodo para que pueda ser programado.

El circuito para programar nodos consiste en un teclado y un display LCD que al conectarse al circuito lo pondrá en modo de programación, donde se le asigna el número de medidor al que está conectado.

5.1.4 Conexión con Ethernet

La red ZigBee posee un nodo concentrador que se encuentra conectado a internet, el cual se comunica con las computadoras del ICE mediante una dirección IP y un puerto específico.

La conexión se hace a través de Ethernet, así el concentrador consiste en un circuito que contiene un transceptor XBee, un dispositivo controlador del XBee y un dispositivo que se comunica con internet. Además se necesita que el dispositivo guarde una página web donde se obtenga información de la red en cualquier momento.

Se escoge entonces un dispositivo que maneje protocolos TCP-IP, entre ellos TCP, IP, HTTP y ARP, además que se base en el estándar de redes de computadora Ethernet, utilizando un conector RJ-45, pues es un tipo de interconexión fácil de conseguir en el lugar donde se implementa el sistema.

Este dispositivo también cuenta con un puerto de comunicación serial para conectarse con el controlador del transceptor. Esto hace que se mantenga en dispositivos separados el transceptor, el controlador del transceptor y el dispositivo con conexión a internet, con el fin de que el dispositivo de internet se dedique sólo a manejar paquetes y conexiones con internet y el controlador de XBee sea exclusivo para procesar los datos del transceptor.

Entre los diferentes dispositivos con estas características se escoge la tarjeta PIC-WEB desarrollada por OLIMEX, basada en el microcontrolador PIC18F67J60, en el cual se puede encontrar una versión del código fuente de la pila de protocolos TCP-IP desarrollada por Microchip, que es software libre, abierto para

ser modificado sin costo para el desarrollador, el cual se modifica para que guarde la página web que se desarrolló para el proyecto, y que a través de la página se pueda ver la información de la red ZigBee y además controlar las conexiones con los diferentes medidores de dicha red.



Figura 5.2 Dispositivo PIC-WEB

5.1.5 Implementación en el campo

La implementación del sistema debe de hacerse en un lugar donde la mayoría de medidores se encuentren a menos de 80 metros línea vista. En aquellos nodos con distancias de hasta 150 metros con su nodo más cercano, se requiere el uso de repetidores, nodos que no tienen conectado un medidor, para lograr tener comunicación con el medidor, estos se colocan de manera que sus nodos adyacentes se mantengan a menos de 80 metros de distancia.

Una zona franca que cumpla con las características anteriores es el mejor lugar para probar el sistema. En la zona franca generalmente existen objetos que pueden obstaculizar la línea vista de los transceptores como lo son árboles, personas y vehículos (automóviles y camiones de carga).

Para obtener un enlace estable se necesita que exista una línea de vista en donde los obstáculos no interfieran en más del 20% de la primera zona de Fresnel (obstrucción máxima recomendada).

Para calcular el radio de la primera zona de Fresnel se utiliza la ecuación 5.1

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D}{4f}} \quad (5.1)$$

Los transceptores a utilizar funcionan sobre la banda de 2.4 GHz, la distancia máxima entre dispositivos es de 80 metros; al utilizar estos valores el resultado del radio máximo de la primera zona de Fresnel es de 1.58 metros.

Los obstáculos más altos encontrados en el lugar de la implementación son de dos tipos, obstáculos permanentes como los árboles, los cuales les dan mantenimiento para que no sobrepasen los 2 metros; y obstáculos temporales como automóviles y camiones que pueden llegar a los 4 metros de altura. Con estos datos se decide colocar los dispositivos a una altura de 5 metros y los repetidores a 10 metros de altura para evitar los obstáculos.

Hay que tratar de utilizar la menor cantidad de repetidores, esto pues con cada “salto” se disminuye la velocidad de transmisión de los datos (throughput), además que los dispositivos aceptan un máximo de 10 saltos entre transmisor y receptor.

En la tabla 5.1 se muestra como es afectado el throughput dependiendo de la configuración del sistema, transmisión router a router (RR), router a end device(RE), end device a router (ER), con encriptación de datos (seguridad activada, SE), sin encriptación de datos (seguridad desactivada, SD) y cantidad de saltos.

Los datos fueron tomados de la hoja de datos del dispositivo XBee serie 2 de Digi, el cual menciona que la medición se realizó utilizando un envío de 100 000 bytes desde la fuente al destino, donde no ocurrieron fallas ni route discovery.

Para el proyecto solo se utilizaron dispositivos router, sin encriptación y a una velocidad de la interfaz serial de 19200 bps.

Tabla 5.1 Relación de cantidad de datos de transmisión entre diferentes dispositivos y distintas configuraciones.

Configuración	Data throughput
1 salto, RR, SD	35kbps
1 salto, RR, SE	19kbps
1 salto, RE, SD	25kbps
1 salto, RE, SE	16kbps
1 salto, ER, SD	21kbps
1 salto, ER, SE	16kbps
4 saltos, RR, SD	10kbps
4 saltos, RR, SE	5kbps

5.2 Descripción del hardware

El sistema se resume en el diagrama de bloques de la figura 5.3.

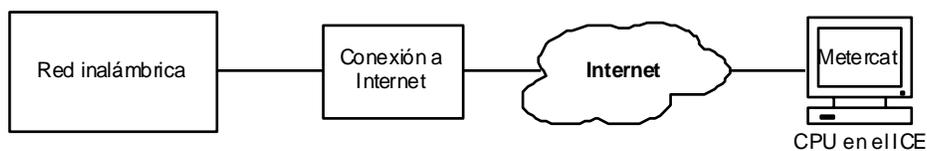


Figura 5.3 Diagrama de bloques de primer nivel

El proyecto consiste en un sistema de comunicación inalámbrico en un área determinada para interconectar 10 medidores eléctricos de estado sólido que integran un puerto de comunicación RS-485. Esta red a su vez cuenta con un punto de salida a internet, mediante la cual se logra comunicar con las computadoras en el ICE.

En el diagrama de segundo nivel, se pretende ejemplificar la conexión en malla que se desea obtener, en ella se diferencian dos tipos de dispositivos, los módulos llamados “nodo”, que son los circuitos que se conectan con el medidor, y el módulo “concentrador con salida a internet”, el cual es el dispositivo que se encarga de enviar la información proveniente de un medidor específico directo a una computadora remota perteneciente al ICE a través de internet, y viceversa.

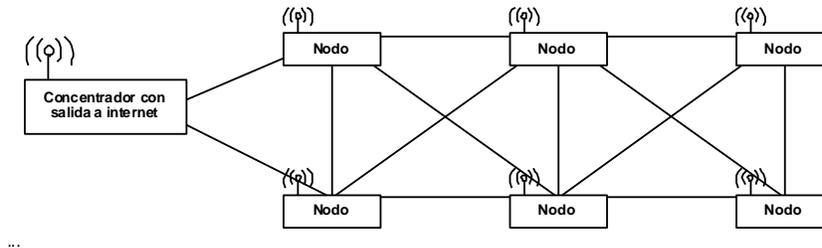


Figura 5.4 Diagrama de bloques de segundo nivel de módulo “red inalámbrica”. Topología de malla

Cada nodo requiere ser programado con el número de medidor asignado, por lo que se necesita de otro módulo de programación que se conecte al módulo nodo al asignársele un nuevo medidor.

La figura 5.5 muestra un segundo diagrama de segundo nivel.

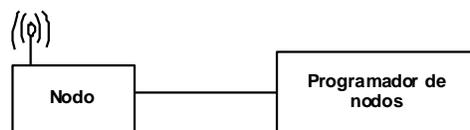


Figura 5.5 Diagrama de bloques de segundo nivel para la programación del módulo nodo

5.2.1 Módulo “nodo”

Se comenzará analizando el diagrama de tercer nivel del módulo “nodo”, que aparece en la figura 5.6.



Figura 5.6 Diagrama de bloques de tercer nivel del módulo “nodo”

5.2.1.1 Módulo “comunicación” del diagrama de tercer nivel del “nodo”

El módulo de comunicación utilizado es un dispositivo llamado XBee, serie 2 con antena integrada, fabricado por Digi, la figura 5.7 muestra el dispositivo utilizado.



Figura 5.7 Dispositivo XBee utilizado como módulo de comunicación

El dispositivo XBee posee las siguientes características:

- Alcance de la señal en interiores: hasta 40 metros.
- Alcance de la señal en exteriores: hasta 120 metros.
- Potencia de transmisión: 2mW (3 dBm).
- Sensibilidad de recepción de la señal: -96 dBm.
- Alimentación: 3.3 V en corriente directa.
- Pico de corriente en transmisiones: 40 mA.
- Pico de corriente en recepción 40 mA.
- Corriente en modo “sleep”: < 10 μ A

- Uso de reintentos y mensajes de reconocimiento (acknowledgement).
- Modulación por espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS).
- Soporta topologías de punto a punto, punto a multipunto, igual a igual (peer to peer).
- Creación de redes mesh con auto enrutamiento, auto restablecimiento de rutas y a prueba de fallos.
- Aprobado por la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones, Estados Unidos), la CE (Conformidad Europea, Unión Europea), entre otros.
- Utiliza la banda ISM de 2.4 GHz.

Las características más importantes por las que se escogió este dispositivo son que el alcance de la señal es suficiente para los propósitos del proyecto, tiene un bajo consumo de energía, soporta la creación de topología en malla (mesh), utiliza métodos de comunicación seguras, trabaja en una banda de frecuencia libre y es reconocido a nivel mundial.

Además el dispositivo cuenta con un puerto UART con señales de control de flujo (CTS y RTS), 13 entradas/salidas digitales (Digital I/O) y 4 convertidores analógico/digital.

Para este proyecto sólo se utiliza el puerto UART, y una salida que funciona como indicador de asociación a una red (se le conecta un led que parpadea cuando el dispositivo se encuentra asociado a una red).

El XBee soporta dos protocolos de interfaz serial, el modo transparente (AT mode) y la interfaz serial de programa de aplicación (Application Programming Interface, API mode), para interoperar con un dispositivo controlador a través de la UART.

En modo API todos los datos enviados y recibidos son encapsulados en una estructura que define operaciones o eventos en el módulo. Utiliza la capa de aplicación para enrutar los datos hacia su destino, en la estructura de envío de

datos se puede variar la dirección de destino. Utiliza el envío de mensajes de estado y notificación, con información del dispositivo de origen y destino.

En este modo una aplicación host puede interactuar con las capacidades de red del módulo, se pueden realizar muchas operaciones como por ejemplo:

- Transmitir datos a múltiples destinatarios sin necesidad de entrar en la interfaz de comandos.
- Recibir mensajes de estados de cada paquete transmitido por RF (success/failure status).
- Identificar la dirección del emisor de cada paquete recibido.

Para lograr montar la red en malla donde se reconozca la dirección de cada nodo, se necesita utilizar el modo de interfaz API del XBee.

El dispositivo, además de ser configurado en modo API, también se programa como un router. Las operaciones que realiza son:

- Permitir que nuevos dispositivos se unan a la red.
- Enrutar paquetes de datos.
- Comunicarse con otros dispositivos de la red.

5.2.1.2 Módulo “control” del diagrama de tercer nivel del “nodo”

Para poder manejar los paquetes de datos y control en modo API se requiere de un dispositivo de control, capaz de realizar esta tarea. Se utiliza un microcontrolador para este efecto. La figura 5.8 muestra la conexión básica del módulo XBee y el dispositivo controlador (microcontrolador) mediante los puertos seriales. Se configuran las UART para que funcionen a 19200 bps, velocidad en la que no se presentan errores de transmisión (debido al canal de comunicación del prototipo), y lo suficientemente rápido para que exista comunicación entre el medidor y el paquete de computación encargado de interrogar al medidor.

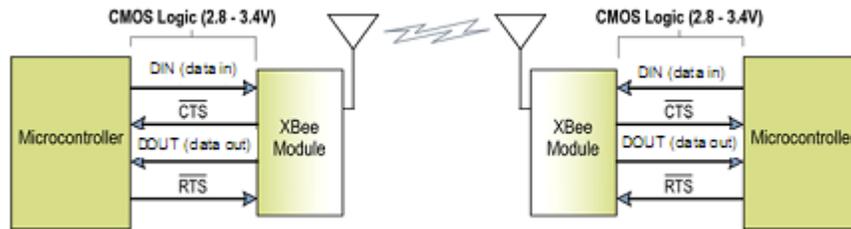


Figura 5.8 Conexión del módulo XBee con un microcontrolador

El módulo de control se encarga de encapsular en una trama API, los datos que recibe del medidor para ser enviados al concentrador de la red; además de realizar la operación inversa, del paquete que recibe del XBee y enviar los datos al medidor (desempaquetar los datos). Además el módulo debe guardar la dirección del dispositivo concentrador.

Cada módulo “nodo” tiene una dirección de 16 bits, guardada en el XBee para poder ser identificado, pero además se necesita identificar cuál medidor está asignado a que dirección XBee, aprovechando que estos dispositivos tienen un registro para identificar cada nodo mediante una cadena en ASCII (node identifier, NI), se decide programar el identificador de nodo de cada XBee con el número de identificación ICE de cada medidor.

En la figura 5.9 se muestra un ejemplo del identificador ICE de un medidor utilizado en este proyecto. El identificador consta de siete dígitos, sin embargo para el uso en los archivos del ICE el identificador se expande a nueve dígitos, introduciendo ceros al inicio para completar los nueve.



Figura 5.9 Número de identificación ICE de un medidor Alpha A3

De este modo se requiere que el microcontrolador, entre sus características, posea suficientes entradas y salidas digitales para conectar el módulo “programador de nodos” que se observa en la figura 5.5.

La conexión a este dispositivo se observa en la figura 5.10.

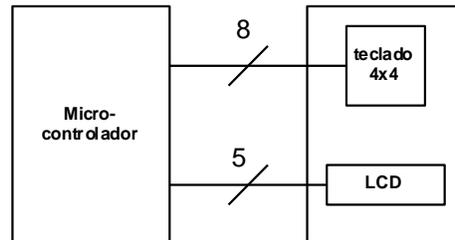


Figura 5.10 Conexión entre microcontrolador y programador de nodos

Por otro lado el módulo “control” estará conectado a un medidor eléctrico el cual tiene un puerto de comunicación RS-485 de 4 hilos (full duplex) utilizando un conector RJ-11 de 4 líneas. Mediante un puerto UART del microcontrolador, se conectan controladores de RS-485 como interfaz para la conexión con el medidor. La figura 5.11 muestra la conexión de los dispositivos utilizados para realizar la conexión.

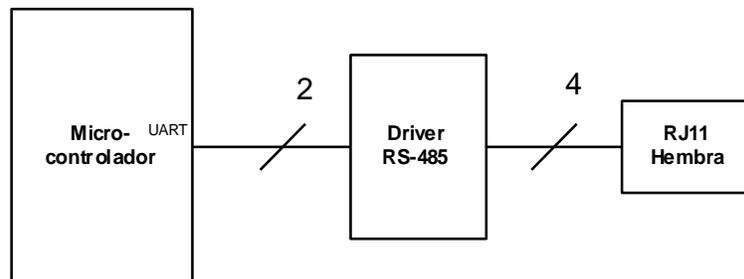


Figura 5.11 Conexión del microcontrolador con driver RS-485

Por este motivo el microcontrolador escogido debe de tener dos UART para facilitar la comunicación con el XBee y el medidor.

Para ensamblar el controlador full-duplex RS-485 se utilizaron 2 transceptores RS-485, modelo LTC1480, uno utilizado sólo como transmisor y el otro sólo como receptor, debido a que estos transceptores fueron los que se pudieron conseguir. La configuración utilizada se observa en la figura 5.12.

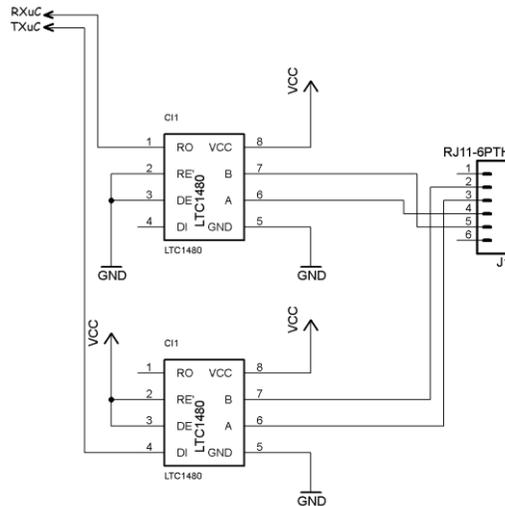


Figura 5.12 Conexión para configurar controlador RS-485 full duplex

Las características del transceptor LTC1480 son:

- Alimentación: 3.3 V.
- Bajo consumo de corriente: hasta 600 μ A en modo de transmisión, 500 μ A en modo recepción.
- ± 7 V en las líneas de datos

El microcontrolador seleccionado para el módulo “control” es el PIC18F26J11 de Microchip, cuyas características más importantes son las siguientes:

- 28 pines con encapsulado DIP.
- Alimentación de 3.3 V.
- 3 puertos de 8 bits (A, B, C).

- 64 kB de memoria de programa.
- 3776 bytes de memoria RAM.
- 16 pines reasignables
- 2 timers de 8 bits, 1 de 16 bits
- 2 USART.

Estas características lo hacen ideal para propósitos del proyecto.

La figura 5.14 muestra el circuito esquemático del módulo “nodo” de la figura 5.6. El circuito consta del módulo “control” y “comunicación”, pues el módulo “medidor” es un dispositivo independiente que lo provee el ICE. Como se observa en la figura, se utiliza un conector RJ-11 hembra de 6 pines para la conexión al medidor (la conexión se hace con 4 hilos, sin embargo, el conector hembra de 4 pines no se logró conseguir).

El circuito se alimenta con una fuente externa de entre 5 y 12 V en corriente directa. Utiliza el regulador de tensión LD1117, que es un regulador de 3.3 V.

La figura 5.13 muestra el prototipo del circuito “nodo”.

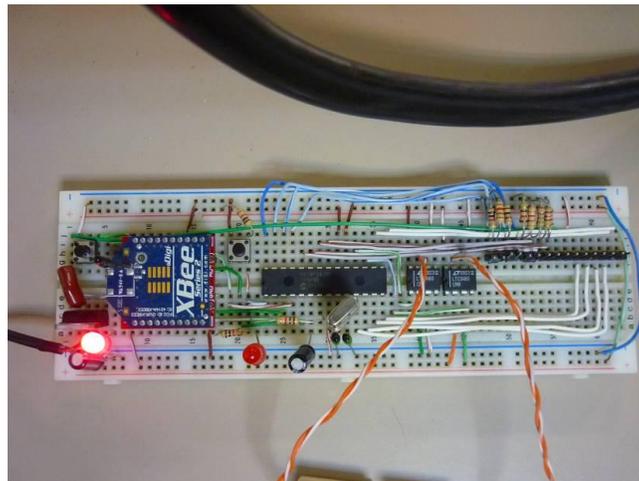


Figura 5.13 Prototipo circuito nodo

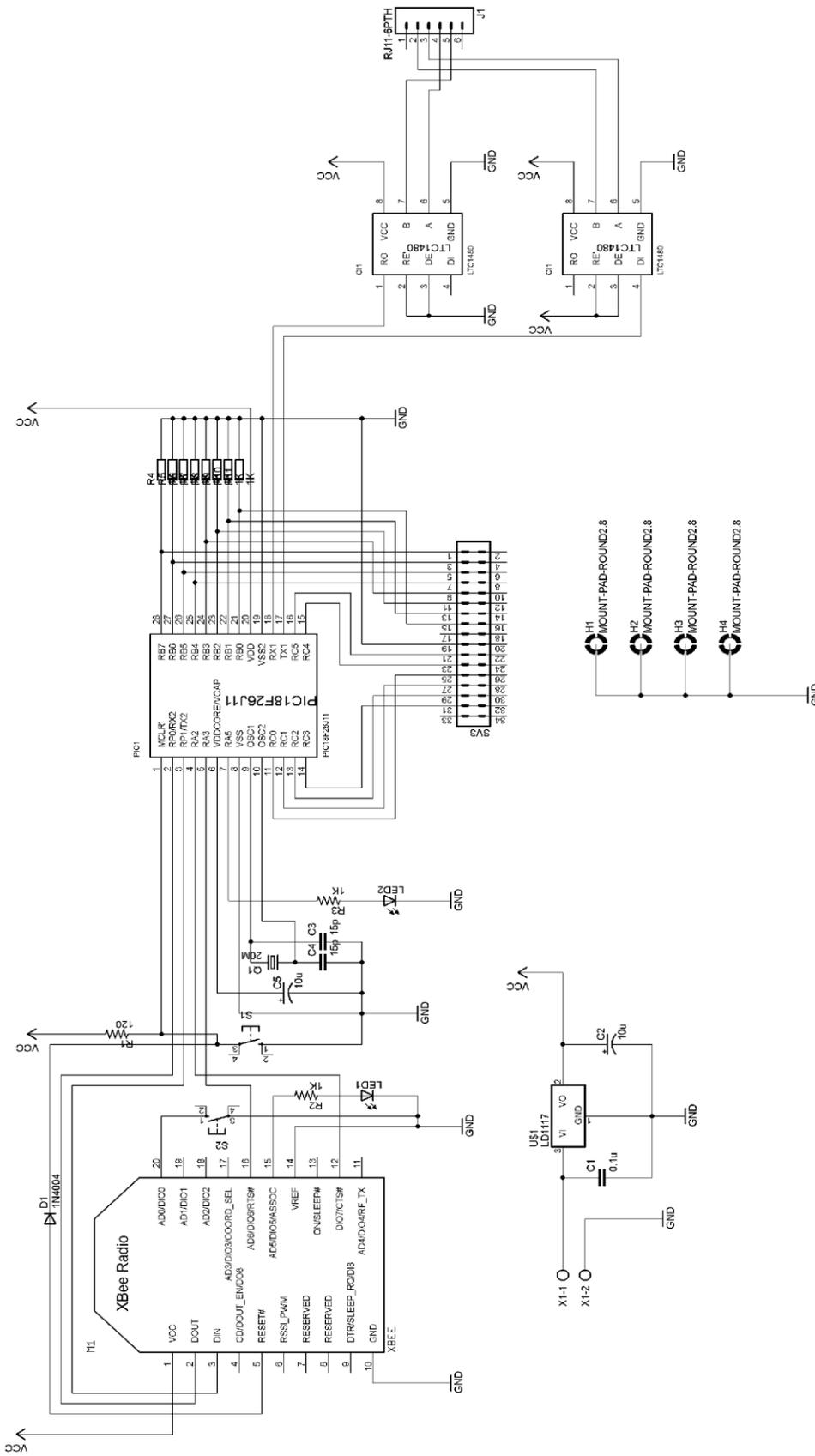


Figura 5.14 Esquemático del circuito “Nodo”

5.2.1.3 Módulo “medidor” del diagrama de tercer nivel del “nodo”

El módulo “medidor” de la figura 5.6 corresponde al medidor Alpha A3 de Elster con puerto RS-485, que lo provee el ICE. La figura 5.15 muestra dicho medidor.



Figura 5.15 Medidor Alpha A3 de Elster

En la siguiente figura se muestra el cable que sale del puerto RS-485 del medidor, el cual irá conectado al circuito “nodo”.



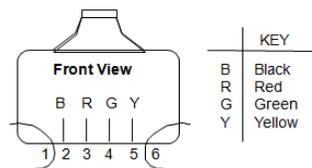
Figura 5.16 Cable de conexión al puerto RS-485 del medidor Alpha A3

Las características del medidor son las siguientes:

- Medidor trifásico.
- Soporta tensiones en rangos de 96 V a 528 V.
- Rango de intensidad de corriente entre 0 A y 20 A (medidor clase 20).
- Posee una memoria interna no volátil de 128 KB y una memoria adicional de 1 MB para guardar el perfil de carga, registro de datos y registro de lecturas.
- Provee un monitoreo continuo de la Calidad de Energía (PQM).
- Puede grabar 50 valores distintos de instrumentación (valores de voltaje, potencia acitiva, potencia aparente, corrientes, etc.).
- Posee los siguientes puertos de comunicación: puerto óptico, módem telefónico e interfaz serial RS-485.

La interfaz RS-485 es programada por defecto a 19200 bps, por lo que la UART del microcontrolador también es programada para que funcione a esa velocidad.

La figura 5.17 muestra la configuración del cable RS-485 con conector RJ-11 de cuatro hilos perteneciente al medidor.



RJ-11 Communications Board Type	Blade and Color						Cable Marker	Interface Adapter
	1	Black 2	Red 3	Green 4	Yellow 5	6		
RS-485 (3D93475G6x)		R-	R+	T+	T-		RS 485	—

Figura 5.17 Configuración del cable RS-485 del medidor

5.2.2 Módulo “concentrador con salida a internet”

Ahora se analizará el diagrama de tercer nivel del módulo “concentrador con salida a internet”, que se muestra en la figura 5.18.



Figura 5.18 Diagrama de bloques de tercer nivel del módulo “Concentrador con salida a Internet”

5.2.2.1 Módulo “comunicación” del diagrama de tercer nivel del “concentrador”

El módulo de comunicación mostrado en la figura es el mismo módulo de comunicación del módulo “nodo”. Se utiliza el dispositivo XBee, serie 2 con antena integrada, fabricado por Digi, mostrado en la figura 5.7.

Se utiliza la interfaz serial de programa de aplicación (modo API) para poder manejar la red mesh.

Para crear una red en malla, se necesita que uno de los dispositivos se programe como coordinador, por este motivo se decide que el circuito concentrador estará compuesto por el dispositivo coordinador. Las operaciones que realiza son las siguientes:

- Es el único dispositivo que puede iniciar una red.
- Es el responsable de seleccionar el canal, el identificador de la red PAN (PAN ID), las políticas de seguridad y el perfil de la pila de la red (características de la red).
- Permite que otros dispositivos se unan a la red
- Enruta paquetes de datos.
- Se comunica con otros dispositivos de la red.

5.2.2.2 Módulo “control” del diagrama de tercer nivel del “concentrador”

Este módulo “control” es similar al que se explicó en la sección 5.2.1.2, el cual es utilizado para manejar los paquetes de datos y control en modo API.

El dispositivo es el mismo microcontrolador PIC18F26J11, que se conecta mediante el puerto UART al XBee a 19200 bps, conexión que se muestra en la figura 5.8.

En este caso, el módulo de control se encarga de empaquetar los datos en tramas API que se reciben del dispositivo Ethernet para ser enviados al nodo con el medidor que se quiere interrogar, y viceversa, envían los datos recibidos en el paquete que recibe del XBee.

El XBee es programado para recibir la mejor ruta para comunicarse con cada nodo de la red (mediante el envío de paquetes route request); como la tabla de enrutamiento del XBee es pequeña, máximo 10 nodos, el módulo “control” tiene la tarea de almacenar todas las rutas de los nodos (guarda una tabla de enrutamiento de todos los nodos de la red con los que se requiere hacer conexión).

En total se necesitan 41 bytes para guardar la información necesaria para entablar conexión con un nodo de la red.

El microcontrolador, además, se conecta a través del dispositivo con Ethernet mediante una interfaz RS-232, por esta razón se requiere la utilización de un controlador RS-232, el utilizado es el MAX232, que es un circuito integrado fácil de conseguir.

La conexión de estos dos dispositivos se muestra en la figura 5.19.

El dispositivo Ethernet posee una terminal DB-9 hembra para la conexión por RS-232, por lo que para el circuito concentrador se utiliza una terminal DB-9 macho para realizar la conexión. La velocidad de conexión es de 19200 bps.

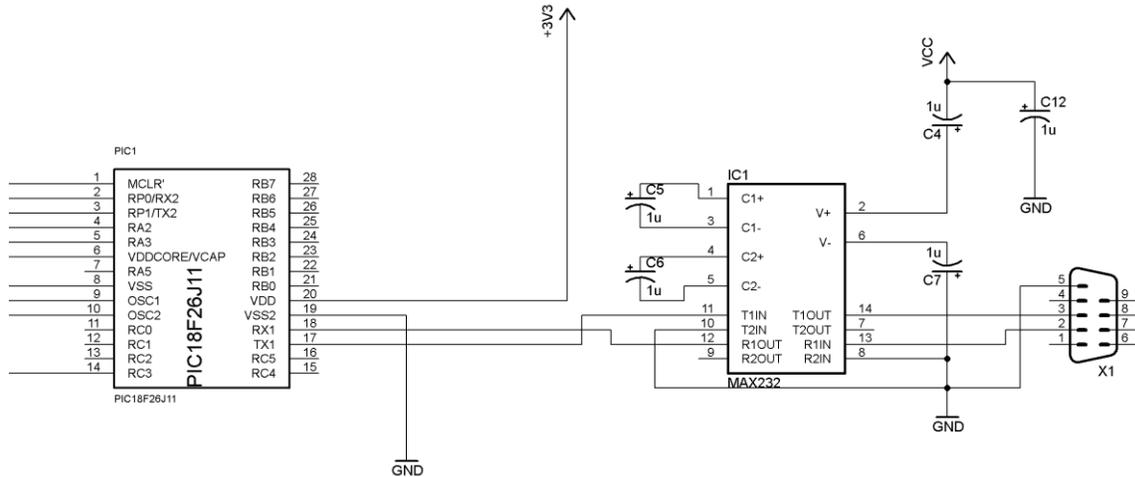


Figura 5.19 Conexión del microcontrolador al controlador RS-232

El módulo control también se encarga de pasar la información de la tabla de enrutamiento guardada, al módulo “servidor web” para mostrar esta información en la página web, e indicar con cual nodo (que medidor) tiene conexión actualmente. También el módulo control recibe comandos del módulo servidor web para escoger o borrar una entrada de la tabla de enrutamiento, o pedir la información de la tabla.

La figura 5.20 muestra el circuito esquemático del módulo “concentrador con salida a internet” de la figura 5.19. El circuito consta del módulo “control” y “comunicación”, pues el módulo “servidor web” es un dispositivo independiente que se analiza en la próxima sección.

El circuito se alimenta con una fuente externa de entre 5 y 12 V en corriente directa. Utiliza el regulador de tensión LD1117, que es un regulador de 3.3 V; como se utilizó el MAX232 como controlador de RS-232, por ser más fácil de adquirir, se necesitó otro regulador, esta vez de 5 voltios para alimentar este dispositivo, por lo que se utilizó el LM7805.

La figura 5.21 muestra el prototipo del circuito “concentrador”.

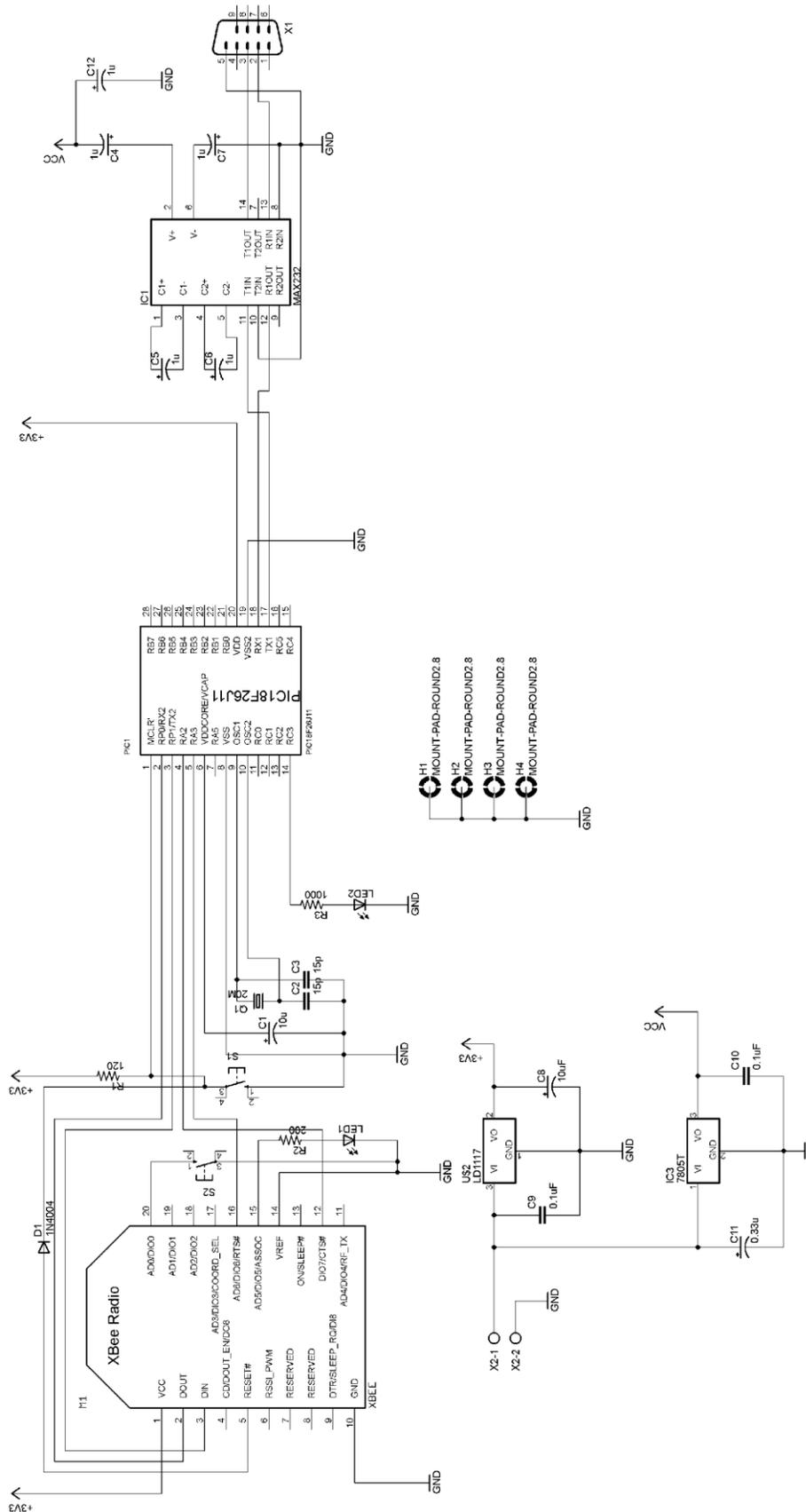


Figura 5.20 Esquemático del circuito concentrador

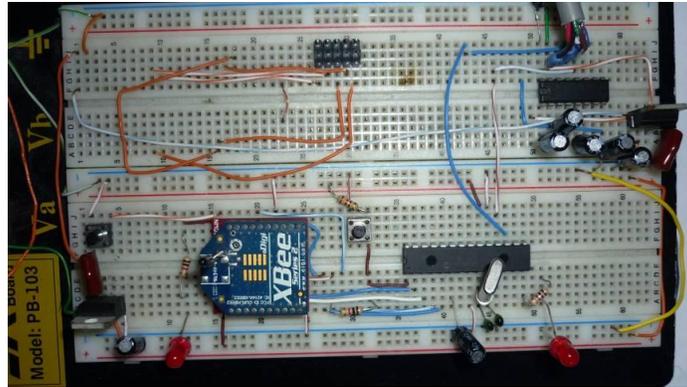


Figura 5.21 Prototipo módulo concentrador

5.2.2.3 Módulo “servidor web” del diagrama de tercer nivel del “concentrador”

El módulo servidor web lo conforma una tarjeta de desarrollo llamada PIC-WEB, diseñada por OLIMEX cuyo componente principal es el microcontrolador PIC67J60 de Microchip, y sus principales características son:

- Microcontrolador PIC18F67J60
- 1Mb de memoria flash para almacenar páginas web
- Conector ICSP/ICD para programar el dispositivo
- Conector y controlador de RS232
- Conector RJ-45
- Pila de protocolos TCP-IP de código abierto desarrollada por Microchip
- Funcionalidad de servidor web
- Alimentación de 5 VDC, con regulador de voltaje de 3.3 V.

El microcontrolador PIC67J60 posee las siguientes características:

- Memoria flash de programa de 128k bytes

- Memoria RAM de 3808 bytes
- Buffer de transmisión/recepción Ethernet de 8192 bytes
- 7 puertos de entrada/salida (A, B, C, D, E, F, G)
- 39 pines de entrada/salida digital
- Comunicación serial: 1 UART, 1 SPI, 1²C
- 2 timers de 8 bits y 3 de 16 bits
- Controlador Ethernet compatible con IEEE 802.3
- Subcapa MAC integrada y protocolo de capa física 10BASE-T

La figura 5.22 muestra la tarjeta de desarrollo PIC-WEB, y la figura 5.23 muestra el esquemático de dicha tarjeta.

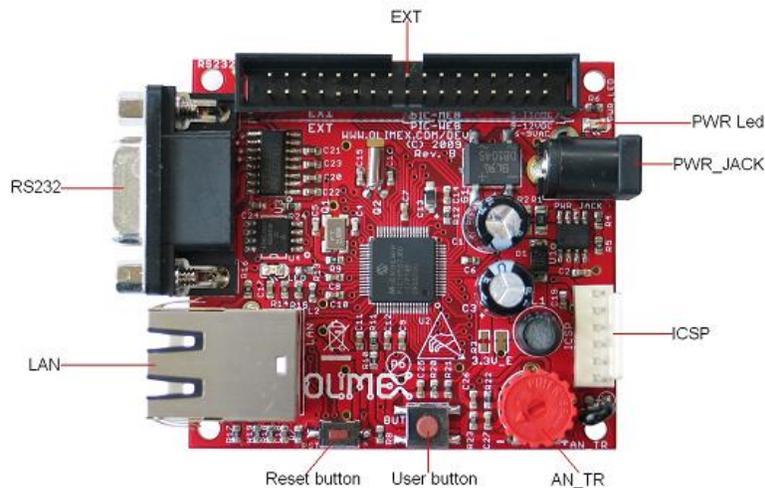


Figura 5.22 Tarjeta de desarrollo PIC-WEB

La tarjeta fue escogida debido a que posee conexión Ethernet, integra la pila de protocolos TCP/IP de código abierto. El dispositivo puede funcionar como servidor web, alojando las páginas web diseñadas para este proyecto. La tarjeta tiene una interfaz serial (RS-232) que facilita la comunicación con los otros submódulos.

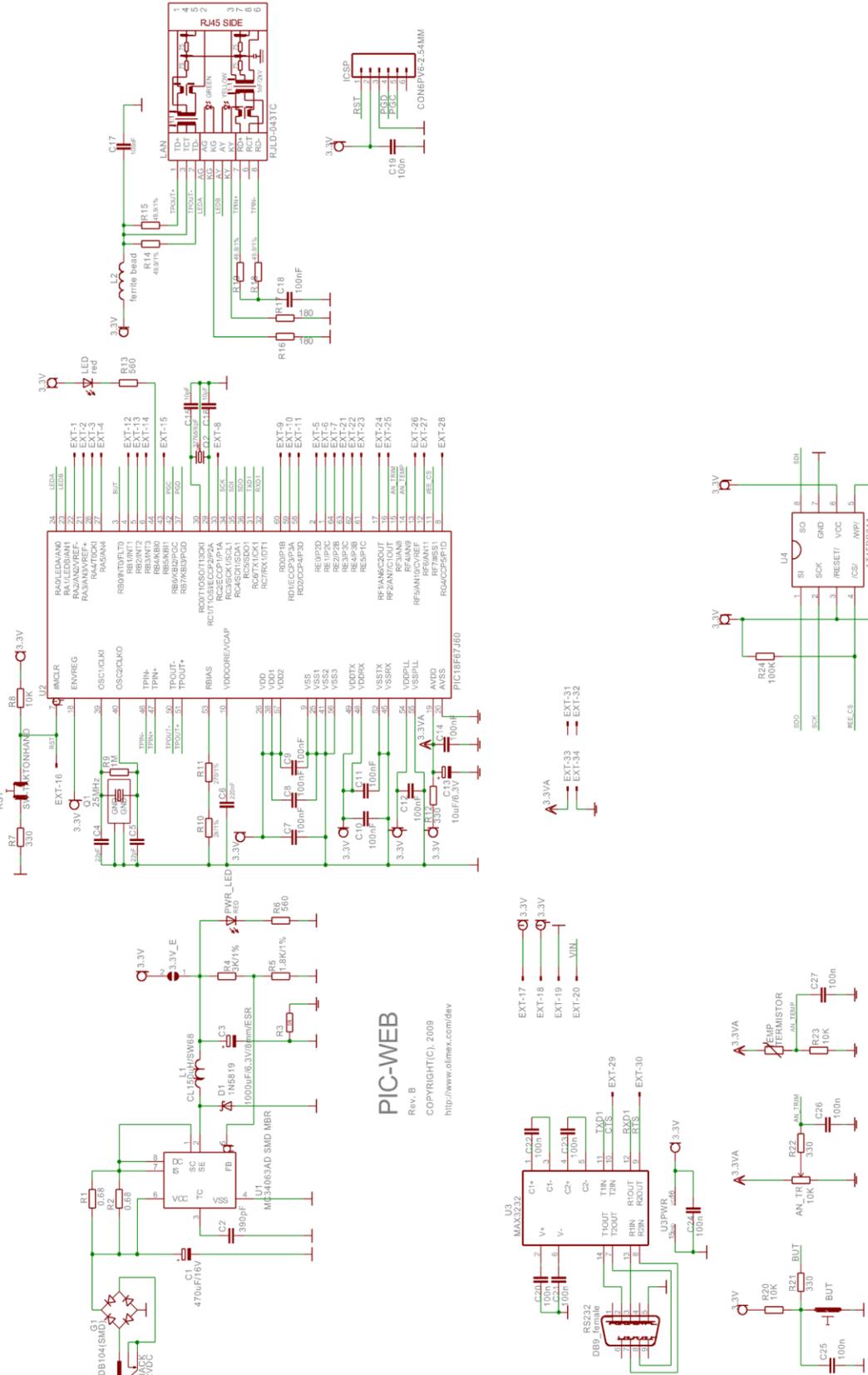


Figura 5.23 Esquemático de la tarjeta de desarrollo PIC WEB

La figura 5.24 muestra la conexión del PIC-WEB con el circuito concentrador.

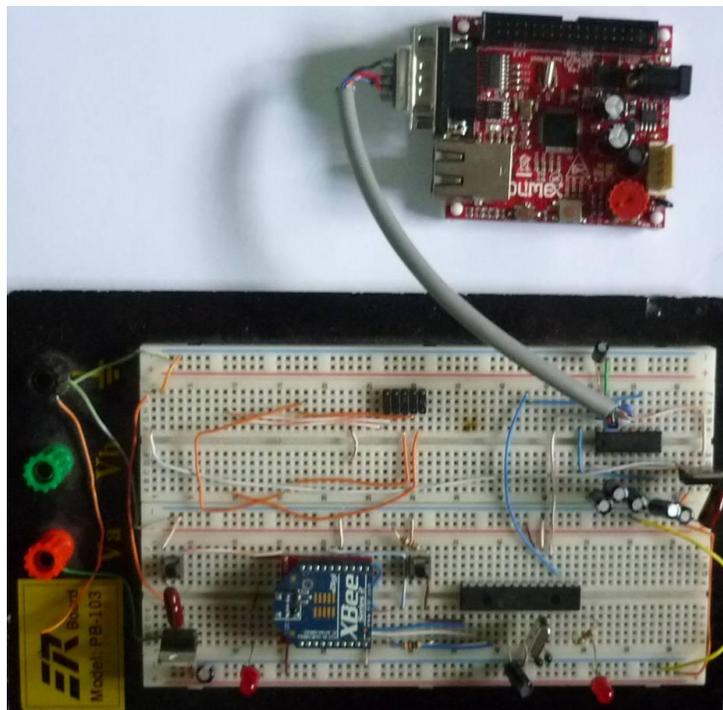


Figura 5.24 Conexión del PIC-WEB con circuito concentrador

5.2.3 Módulo “programador de nodos”

La figura 5.25 corresponde al diagrama de tercer nivel del módulo “programador de nodos”.

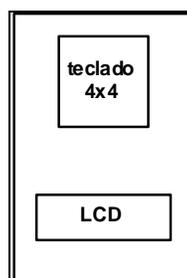


Figura 5.25 Diagrama de bloques de tercer nivel del módulo “programador de nodos”

En él se observan dos submódulos separados entre sí, este es un circuito simple, está conformado únicamente por un teclado 4x4 y un LCD.

Este circuito se alimenta con una batería de 9 V, y utiliza el regulador LM7805 para alimentar al LCD a 5 V.

La figura 5.26 muestra el esquemático del programador de nodos y en la figura 5.27 se observa el prototipo del circuito.

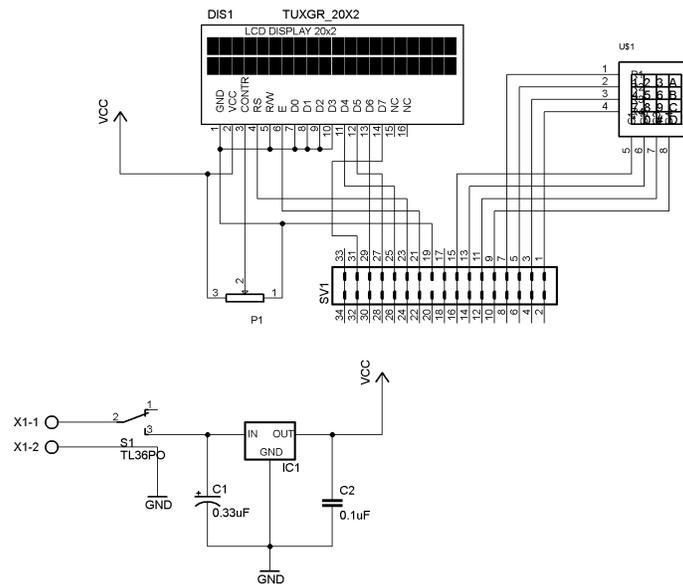


Figura 5.26 Esquemático del “programador de nodos”



Figura 5.27 Prototipo programador de nodos

5.3 Descripción del software

Los dispositivos que se deben programar son el Xbee, y microcontrolador, de los módulos “nodo” y “concentrador con salida a internet”, además de la tarjeta de desarrollo PIC-WEB del último módulo mencionado.

5.3.1 Módulo “nodo”

Se comenzará con la explicación de los submódulos del módulo nodo.

5.3.1.1 Módulo “comunicación” del diagrama de tercer nivel del “nodo”

El dispositivo que conforma el módulo de comunicación, el XBee debe ser programado para que trabaje con configuración red mesh, para el módulo principal “nodo”.

Como se habló anteriormente, el XBee debe funcionar como un router, además de que la interfaz de comunicación serial debe ser en modo API. Para que el XBee funciones con estas características se le debe instalar el firmware apropiado, para esto se utiliza un paquete de computadora que lo provee el fabricante, el programa se llama X-CTU, mediante el cual el XBee es configurado, a través del puerto serial conectado a una computadora. La figura 5.28 muestra la tarjeta que se utiliza para conectar el XBee a la computadora utilizando un puerto RS-232, mientras que la figura 5.29 presenta la ventana principal del X-CTU.



Figura 5.28 Dispositivos XBee explorer Serial, utilizado para conectar el XBee al CPU

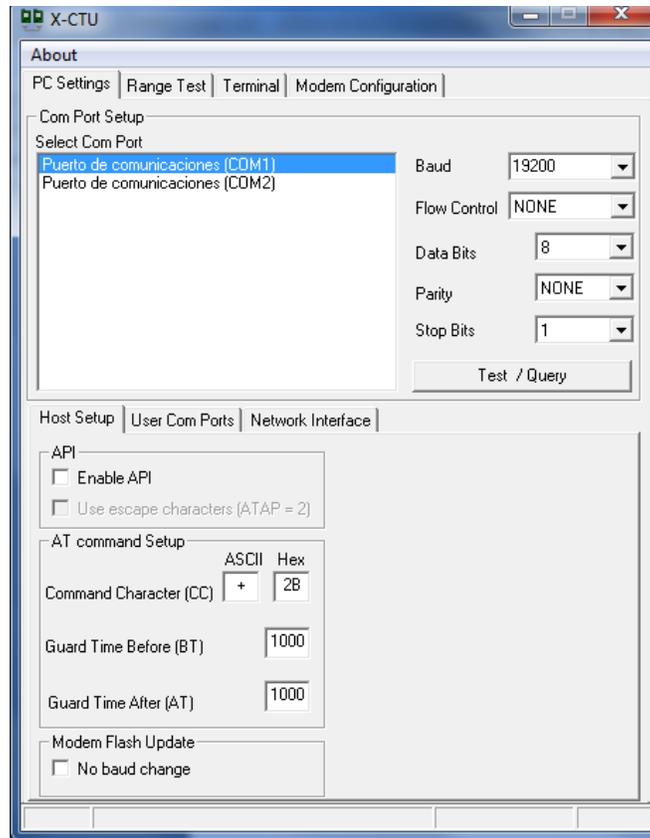


Figura 5.29 Ventana principal del programa X-CTU

Desde la ventana principal del X-CTU se escoge el puerto de comunicación de la computadora donde se conecta el XBee, en el espacio “Baud” se escoge la velocidad de transmisión a la que está funcionando el dispositivo (9600 bps por defecto), y si el dispositivo ya tiene activada la interfaz seria API, se debe de marcar el espacio “Enable API”. Presionando el botón “Test/Query” se prueba si hay comunicación con el XBee.

Una vez que haya comunicación entre la computadora y el XBee se utiliza la pestaña “Modem Configuration” para configurar el dispositivo.

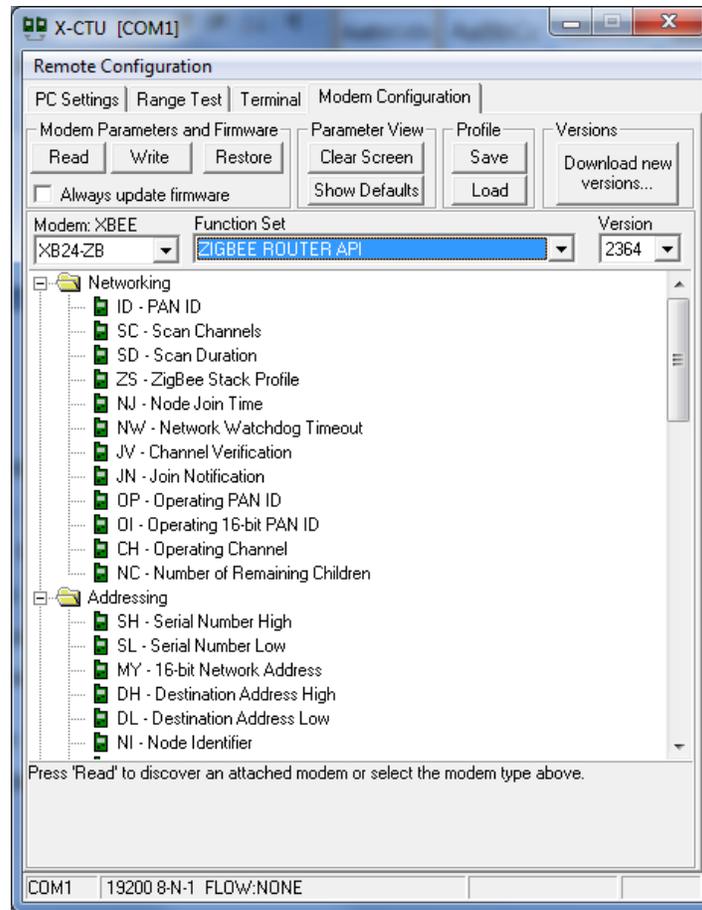


Figura 5.30 Ventana para programar el XBee

En la figura 5.30 se muestra en azul que el dispositivo es programado con el set de funciones “ZigBee Router API”, router ZigBee con interfaz API.

Desde esta ventana el XBee es programado, se configura la UART a una velocidad de 19200 bps, que es el único cambio que se le hace a la configuración por defecto.

5.3.1.2 Módulo “control” del diagrama de tercer nivel del “nodo”

El microcontrolador es el dispositivo central del módulo control, en él se programan las rutinas para el manejo de los paquetes de datos entre el medidor y el XBee. A continuación se presentan los diagramas de flujo de los algoritmos utilizados.

En la figura 5.31 se muestra el diagrama de flujo del programa principal. Al arrancar el sistema se inicializan las variables, así como los puertos a utilizar, se configuran las dos UART a 19200 bps y se configura el puerto B para trabajar con el teclado 4x4 del módulo programador de nodos cuando éste se encuentre conectado al módulo nodo.

Luego se inicializan las interrupciones a utilizar, las de recepción y transmisión de datos de las dos UART. Una vez hecho esto el dispositivo se encuentra listo para interactuar con el XBee. Al inicio se envía un comando al XBee para pedir el identificador del nodo (NI), si se recibe un NI válido, se pasa al lazo principal del sistema, en caso contrario, el dispositivo se pone en modo de espera para que se introduzca un NI válido utilizando el programador de nodos.

Cuando se llega al lazo principal el algoritmo llama a tres rutinas, la primera es para enviar los datos recibidos del medidor hacia el XBee, la segunda es la acción inversa, los datos que se reciben del XBee se envían al medidor, la tercera, revisa si se ha presionado la tecla “enter” y en caso de ser verdadero, entra a la rutina para programar al XBee con un NI diferente.

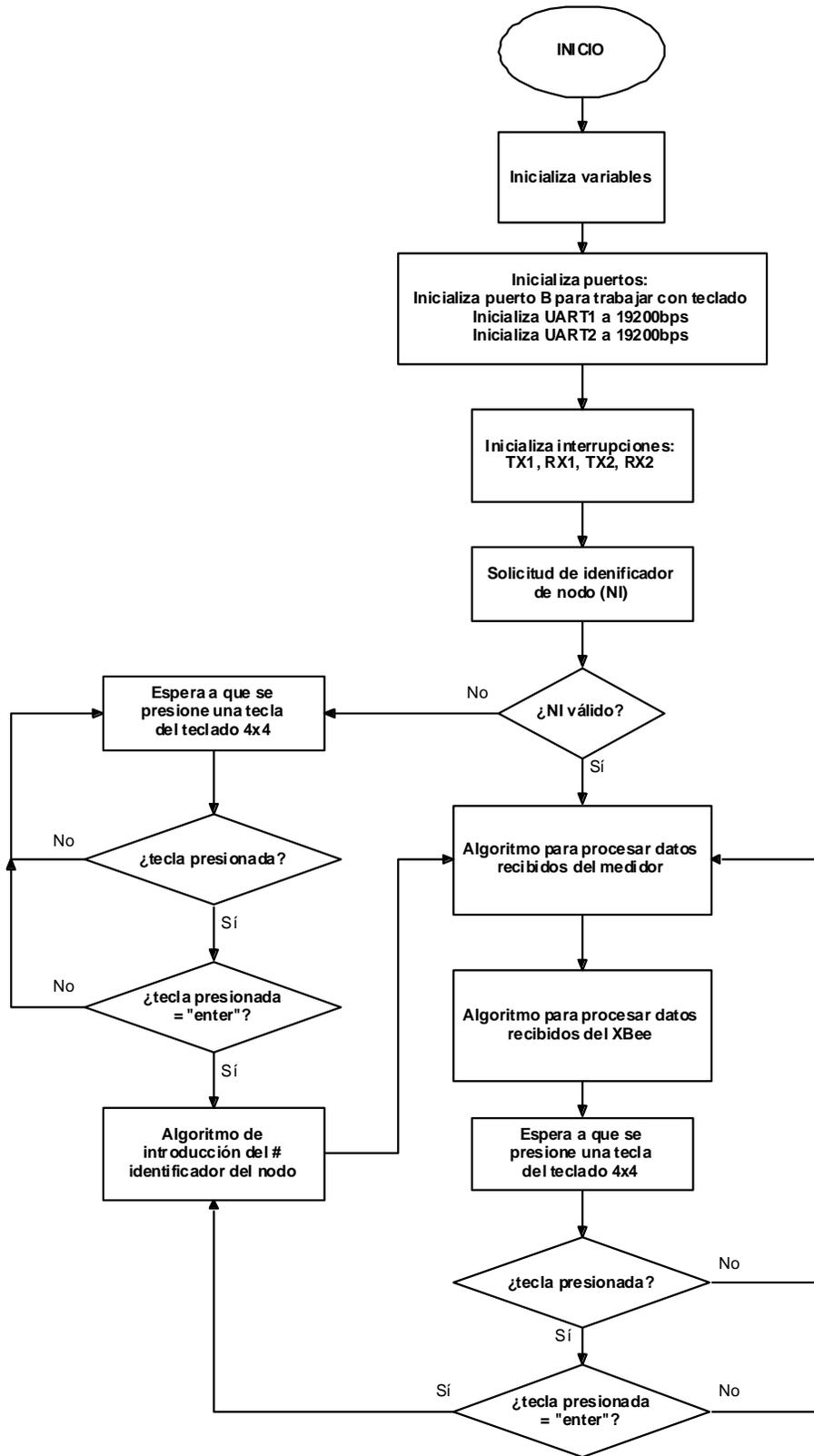


Figura 5.31 Diagrama de flujo del programa principal

La figura 5.32 muestra el algoritmo para procesar los datos recibidos del medidor.

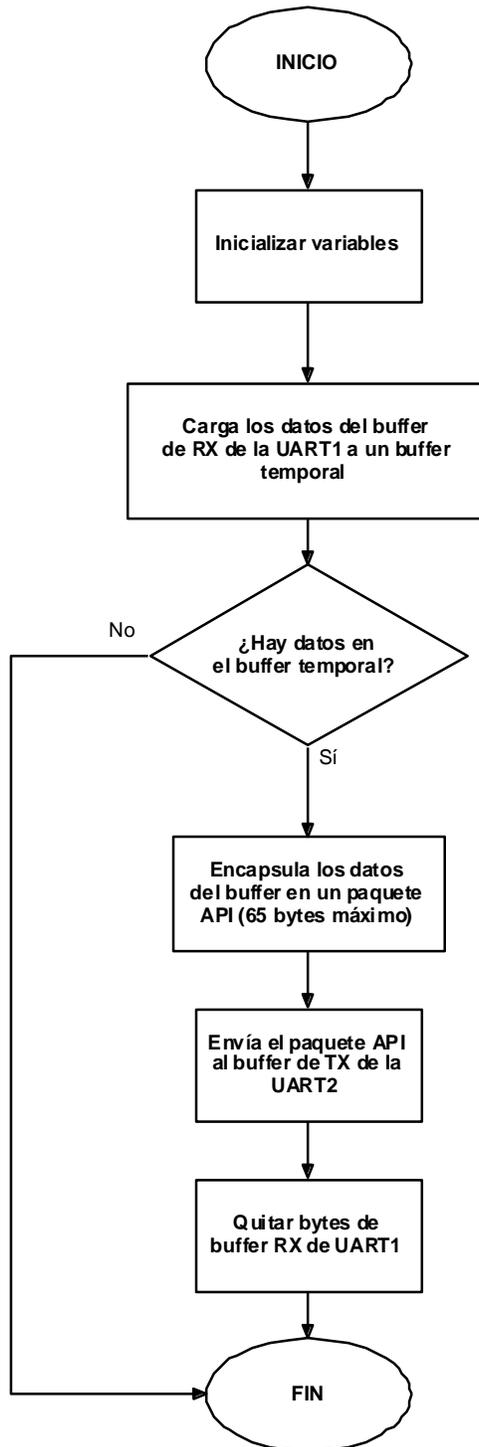


Figura 5.32 Algoritmo para procesar datos recibidos del medidor

Por medio de las interrupciones de transmisión y recepción de las UART el microcontrolador se establece como un dispositivo de dos puertos seriales full-duplex, con un buffer para guardar los datos recibidos mientras el sistema los procesa. La UART 1 se conecta con el medidor, mientras que la UART 2 se conecta con el XBee.

De este modo, el sistema pasa los datos del buffer de recepción de la UART 1 a un buffer temporal (si hay datos recibidos), se revisa la cantidad de bytes recibidos, si no hay datos recibidos (0 bytes) la rutina termina, si es mayor a cero los datos son encapsulados en un paquete con el formato API del XBee para ser enviados al concentrador. La longitud máxima de la trama API es de 100 bytes, la cantidad máxima de bytes de datos varía dependiendo de la configuración de la red (seguridad habilitada, red mesh) y de las características de la conexión del nodo transmisor y receptor (cantidad de saltos para llegar al destino), para la configuración utilizada en el proyecto se recomienda utilizar un máximo de 65 bytes de datos. Por lo tanto, se encapsulan un máximo de 65 bytes de datos, el resto permanece en espera en el buffer de la UART para la próxima llamada a la rutina.

Finalmente la trama resultante es puesta en el buffer de transmisión de la UART 2 a la espera de ser transmitida (mediante la interrupción de transmisión).

La figura 5.33 muestra el algoritmo para procesar los datos recibidos del XBee.

El XBee envía los datos en tramas API, el algoritmo debe verificar que la información que le llega sea de una trama válida. Sólo dos tipos de trama se toman en cuenta en los nodos, la trama de recepción de datos y la de mensajes de indicador de solicitud de ruta (route request) que lo envía en este caso el concentrador.

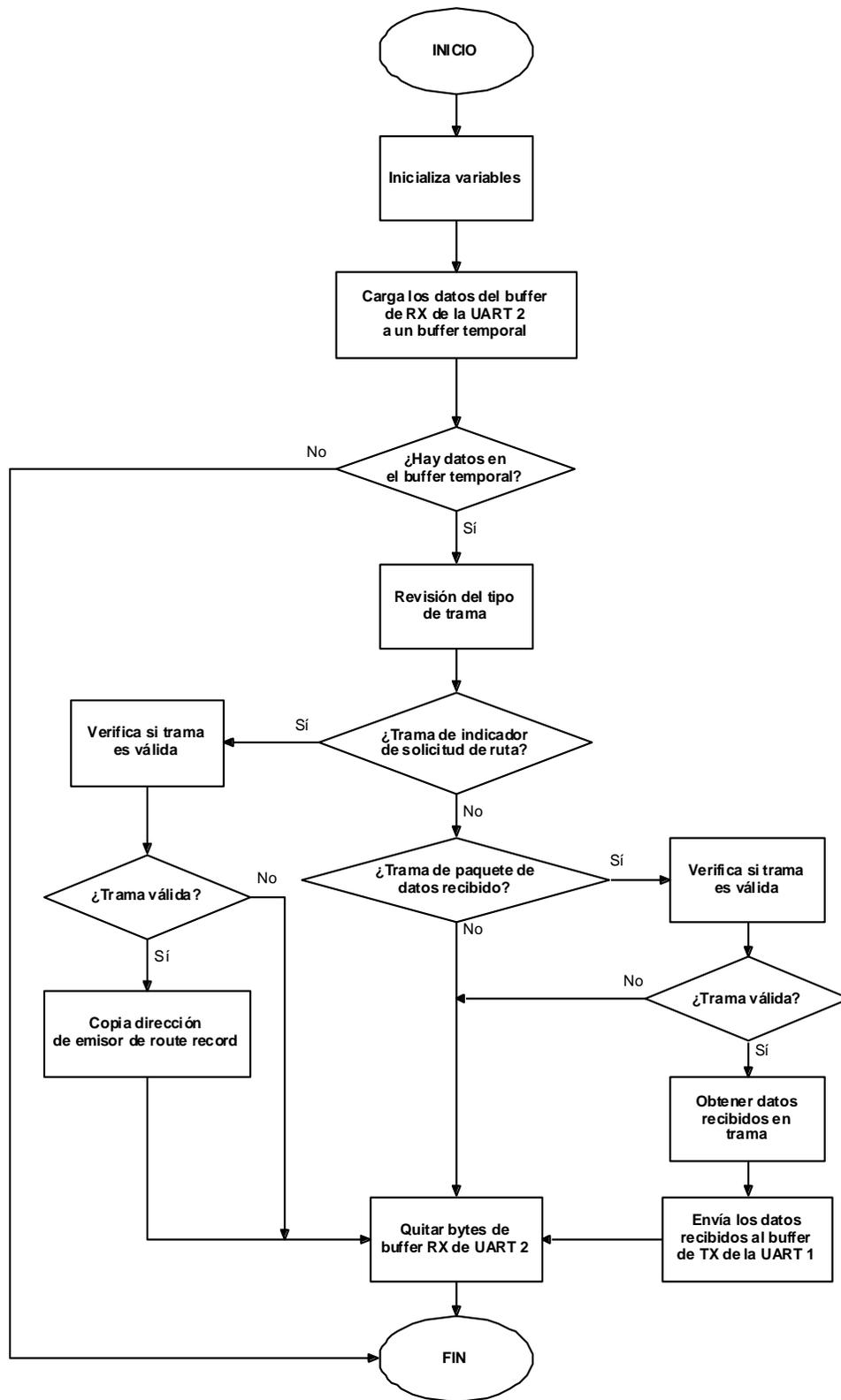


Figura 5.33 Algoritmo para procesar los datos recibidos del XBee

Si la trama recibida es de indicador de solicitud de ruta, se obtiene la dirección del emisor del mensaje, el cual se supone debe ser el concentrador, luego esta dirección es la que se pondrá como dirección del receptor de los datos enviados por el nodo.

En caso de que lo que se reciba sea una trama de paquete de datos recibidos, se extraen los datos de la trama (se desencapsulan los datos), y se envían por la UART1 hacia el medidor. Si los datos que se reciben no son de tramas válidas, se desecha la información.

Si al iniciar el sistema no hay un identificador de nodo válido, o si en cualquier momento se conecta al nodo el programador de nodos y se presiona la tecla “enter”, el programa principal llama a la rutina para introducir el número identificador del nodo, cuyo algoritmo es el que se muestra en el diagrama de bloques de la figura 5.34.

En él, se introduce a través del teclado el número identificador del nodo, sólo se permite la introducción de números del 0 al 9 y un máximo de nueve dígitos, si se introduce un número mal, se puede borrar ese número, presionando la tecla “retroceder”. Si se quiere borrar todo el número escrito se presiona la tecla “clear” y en caso de querer cancelar la operación se presiona la tecla “salir”, si se presiona ésta última, el algoritmo primero revisa que ya haya un identificador de nodo válido guardado, en caso de no ser así no se permite la cancelación de la operación, el programa no saldrá de la rutina hasta que haya un identificador válido.

Una vez que se hayan introducido los nueve dígitos se presiona la tecla “enter” para guardar el número y salir de la rutina.

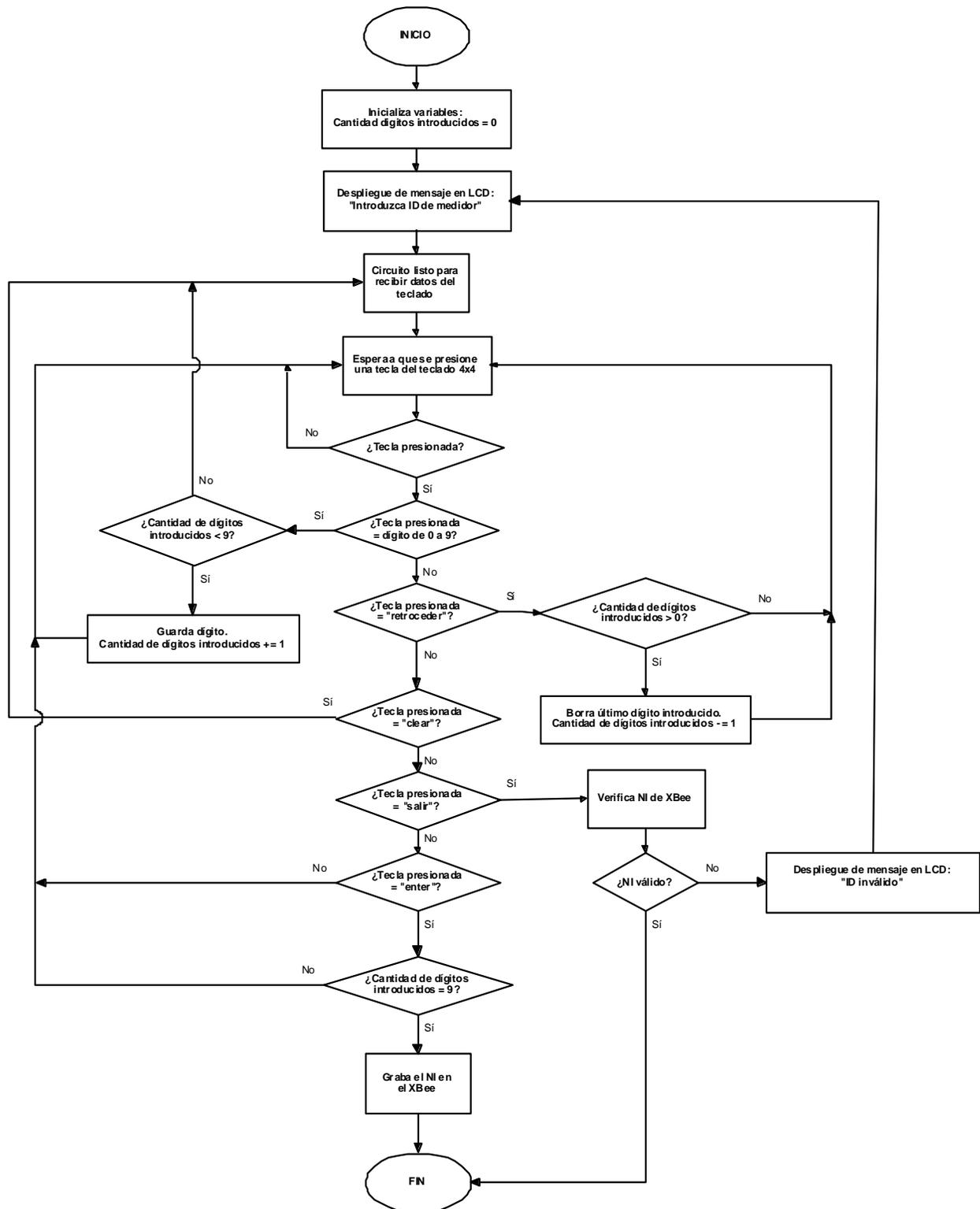


Figura 5.34 Algoritmo para programar el identificador de nodo

Para la transmisión y recepción de datos de las dos UART se utilizan las interrupciones de transmisión y recepción de cada una de ellas. La figura 5.35 muestra el algoritmo de la interrupción de transmisión, que es la misma para las dos UART, sólo cambia el buffer que utiliza, (buffer1 para la UART1 y buffer2 para la UART2).

Los buffers se utilizan como una estructura circular, donde mediante dos punteros se marcan el fin y el inicio, y éstos se van corriendo hacia adelante a medida que se introducen o eliminan datos del arreglo.

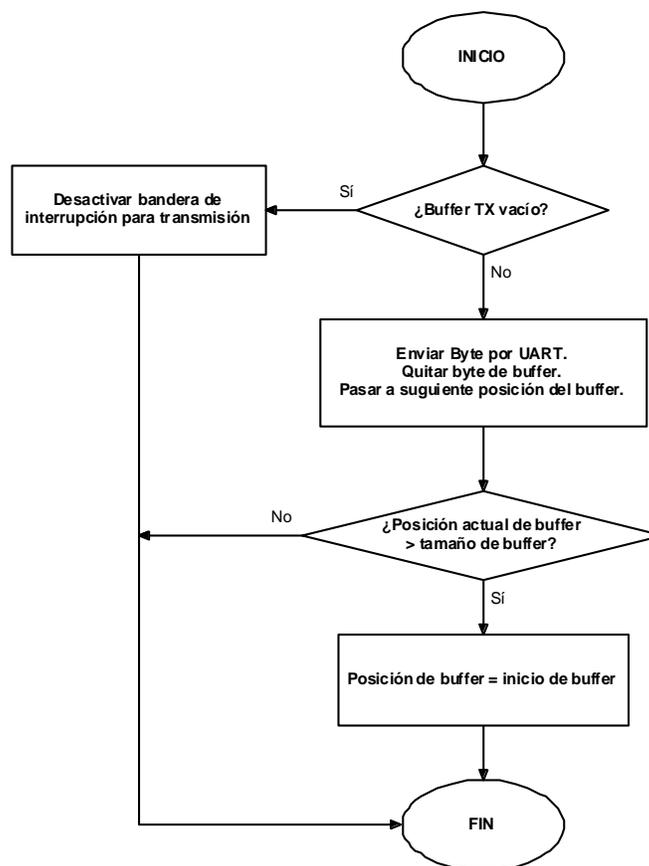


Figura 5.35 Interrupción de transmisión

En la interrupción, la bandera de interrupción se encuentra activa mientras existan datos para enviar en el buffer de transmisión. Los datos son transmitidos por la

UART y borrados del buffer, una vez que no hayan datos en el buffer, la bandera se desactiva.

Para la interrupción de recepción de datos, se utiliza el algoritmo de la figura 5.36, donde el buffer de recepción también es un arreglo circular.

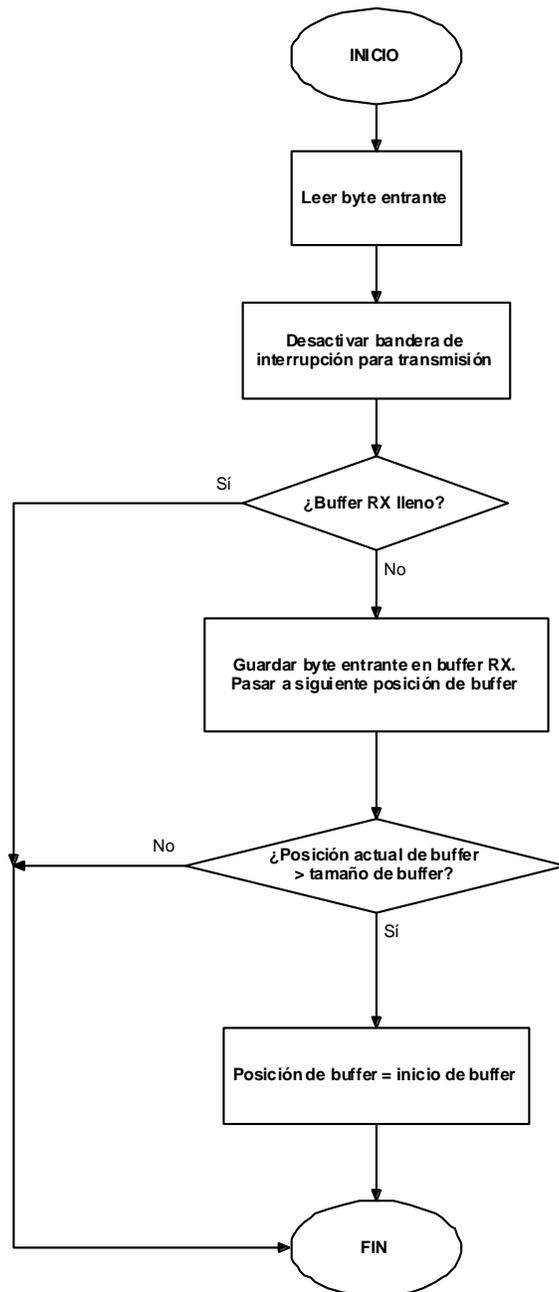


Figura 5.36 Interrupción de recepción

Cada vez que llega un dato a la UART, se activa la bandera de interrupción de recepción haciendo al sistema a entrar a la rutina de interrupción, ahí, se lee el byte que entra a la UART, se desactiva la bandera de interrupción, y el dato es guardado en el buffer de recepción. En caso de que el buffer esté lleno, el dato es desechado.

5.3.2 Módulo “concentrador”

Los tres dispositivos que conforman los tres submódulos del concentrador, deben ser programados, a continuación se presenta la explicación de los algoritmos que se utilizan en cada uno de los dispositivos utilizados en el concentrador.

5.3.2.1 Módulo “comunicación” del diagrama de tercer nivel del “concentrador”

Al igual que en el nodo, el XBee debe ser programado para funcionar en red mesh. En el caso del concentrador, como es el único dispositivo diferente en la red, se determina que el XBee se configure como coordinador, que tiene que ser único en la red, además debe utilizar la interfaz serial en modo API para utilizar las funciones de administración de la red y poder crear así la red mesh.

La figura 5.37 muestra la ventana de la aplicación X-CTU para configurar al XBee como un coordinador con interfaz API, además, la velocidad de transmisión de la interfaz serial se pone a 19200 bps.

Una variación importante con respecto al nodo es que se activa la opción de Many-to-One Route Broadcast (AR), se pone un número hexadecimal que representa un tiempo en segundos. Ahora, el dispositivo envía un mensaje de solicitud de ruta de forma periódica (el tiempo asignado en AR), con la dirección del coordinador como emisor, de esta manera se crean rutas inversas, de este modo, cada nodo guarda en su tabla de enrutamiento la ruta hacia el coordinador, y así cuando el nodo requiere enviar información al concentrador, busca en su tabla de enrutamiento esta ruta y se ahorra la necesidad de tener que realizar un descubrimiento de rutas (route discovery).

Diseño de una red de comunicación inalámbrica de medidores eléctricos de estado sólido utilizando el conjunto de protocolos ZigBee

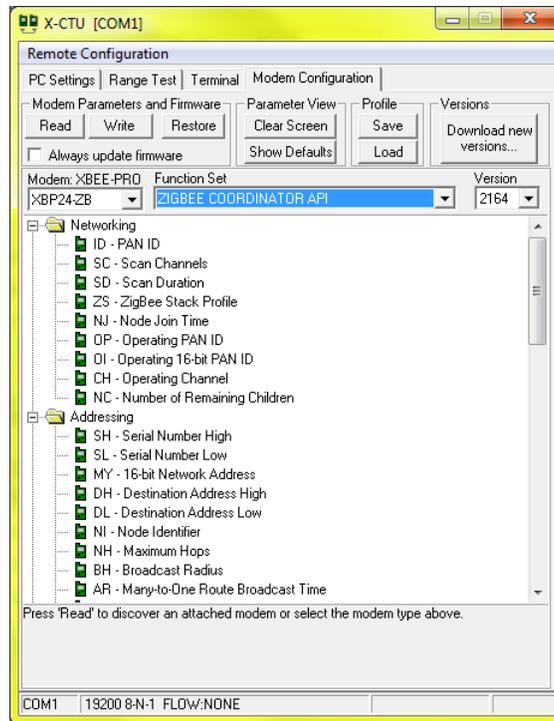


Figura 5.37 Ventana para programar el XBee

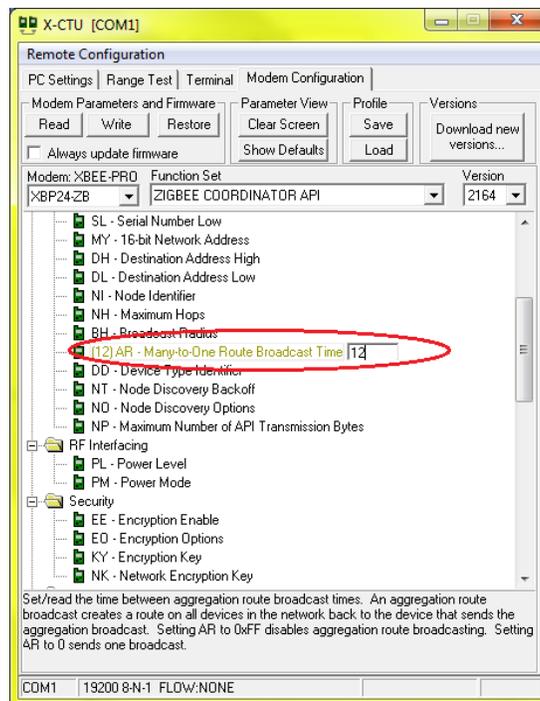


Figura 5.38 Configuración del tiempo de envío de mensajes de solicitud de ruta a 3 minutos (180 segundos)

La figura 5.38 muestra la configuración del AR a 12, este es un número hexadecimal, para calcular el periodo con que se envían los mensajes de solicitud de ruta hay que multiplicar su número equivalente hexadecimal por 10. De este modo el coordinador se ha configurado para enviar el mensaje cada 3 minutos (180 segundos), para que cuando se soliciten las rutas por parte del concentrador, estas no tengan un retraso de actualización mayor a 180 segundos.

5.3.2.2 Módulo “control” del diagrama de tercer nivel del “concentrador”

Por la forma en que se maneja la red, que el concentrador tiene que comunicarse con los demás nodos, el módulo control debe de guardar una tabla de enrutamiento con las rutas de todos los nodos de la red, pues el XBee tiene una tabla muy limitada, máximo 10 nodos. Ahora, el sistema puede comunicarse con más dispositivos sin tener que enviar mensajes para descubrir la ruta del dispositivo destino. Se configura el sistema para tener una tabla para 30 nodos.

El programa principal del control se muestra en la figura 5.39. Al arrancar el sistema se inicializan las variables y los puertos a utilizar, se configuran las dos UART a 19200 bps y el contador Timer0 a 1 segundo.

Luego se inicializan las interrupciones a utilizar, las de recepción y transmisión de datos de las dos UART así como la del Timer0, luego se vacía la tabla de enrutamiento del sistema, para que evitar que queden entradas antiguas que afecten el desempeño. Una vez hecho esto el dispositivo se encuentra listo para interactuar con el XBee.

Se entra en un lazo en donde se revisa si se han recibido datos del PIC-WEB, luego, si ha llegado del XBee, para procesarlos. El programa principal actualiza los datos de la tabla de enrutamiento cada 30 minutos, y modificar la información que guarda si existe un cambio en la red. Se toman estos valores para no saturar la red con mensajes de solicitud de rutas y de identificadores, pues la lectura de los medidores se realiza generalmente una vez al día, además en caso de ser necesario, se puede actualizar la red en cualquier momento desde la página web, como se verá más adelante.

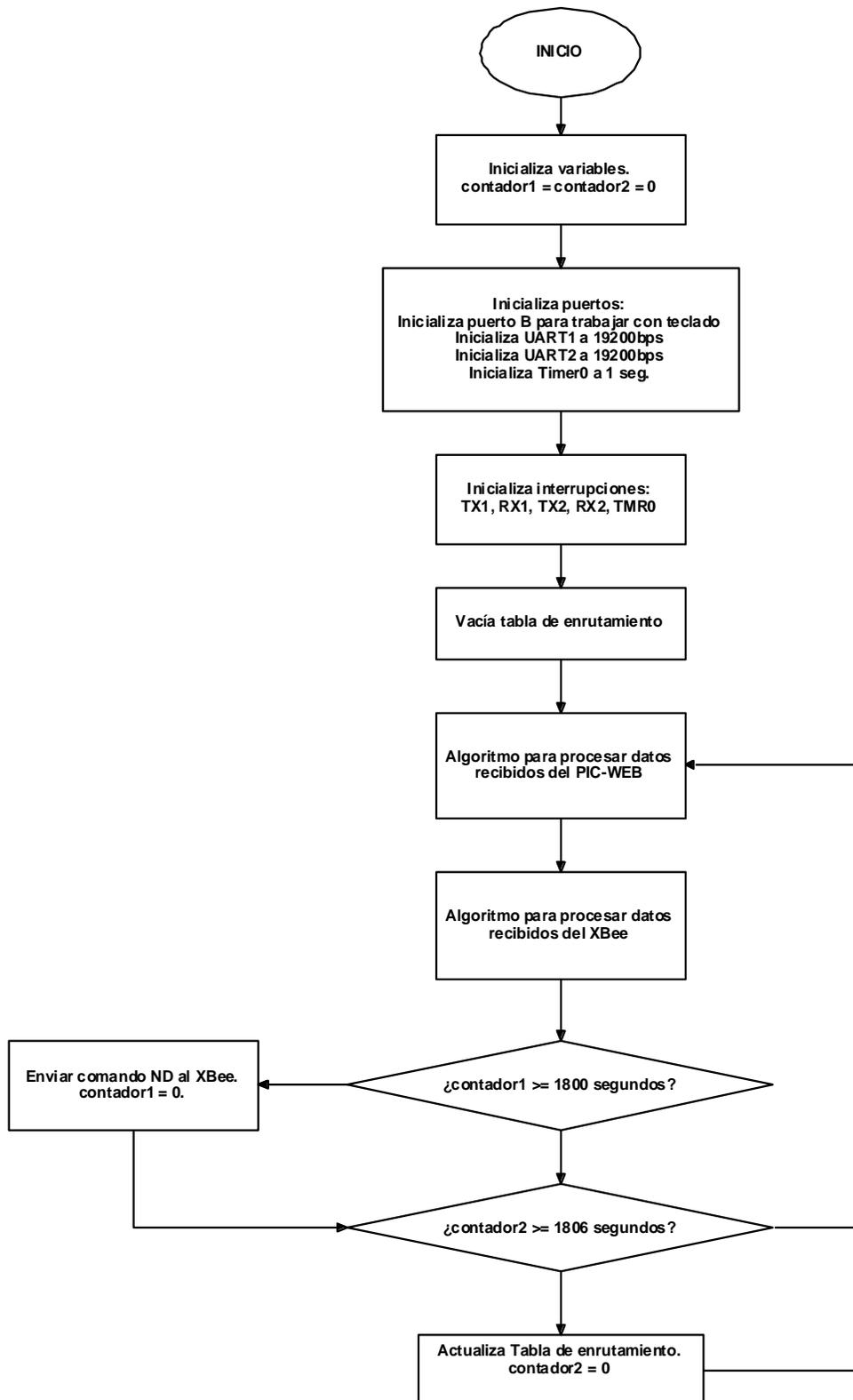


Figura 5.39 Diagrama de flujo del programa principal

La figura 5.40 muestra el algoritmo para el manejo de datos provenientes del PIC-WEB.

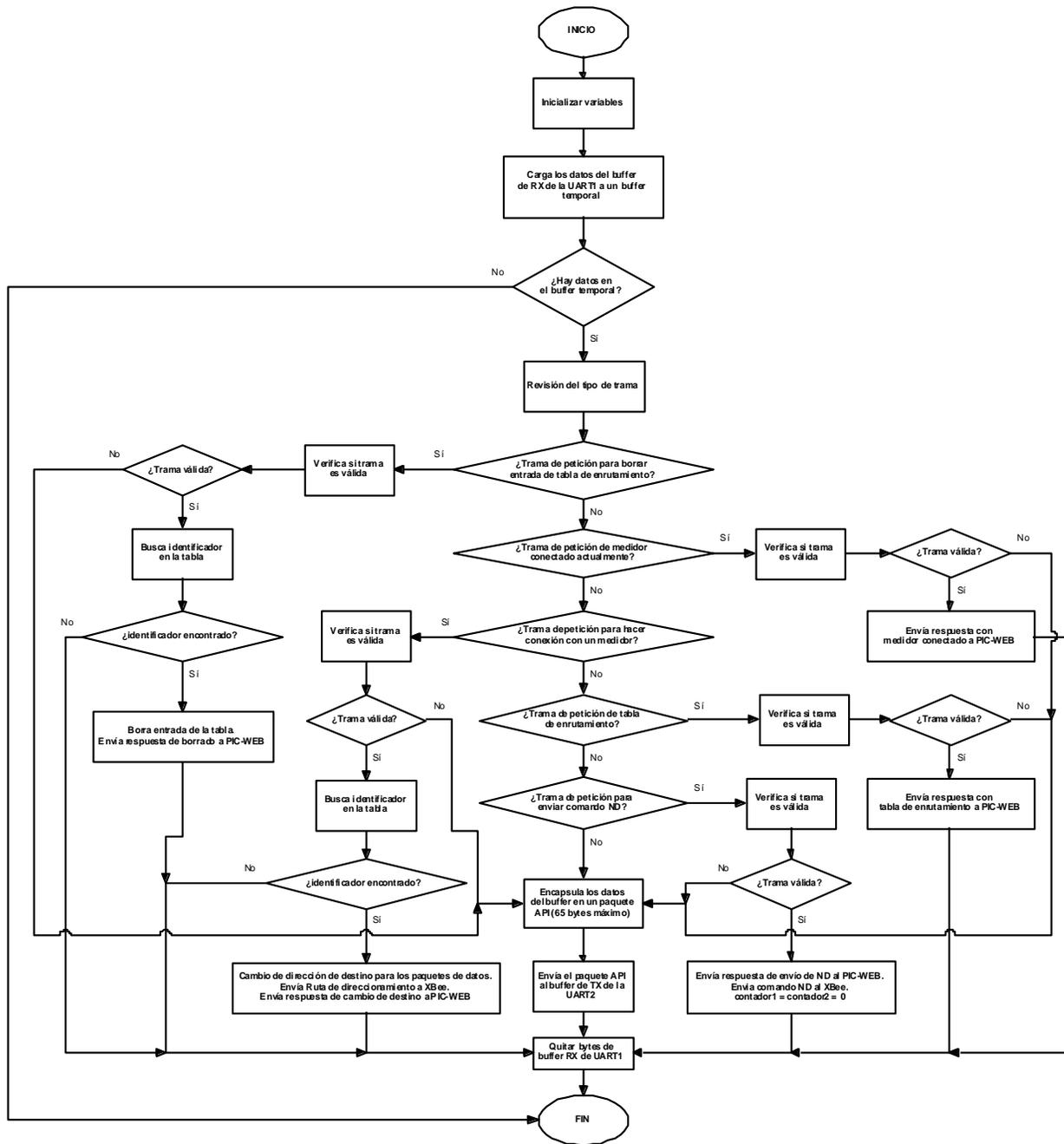


Figura 5.40 Algoritmo para procesar los datos recibidos del PIC-WEB

Se comienza inicializando variables, luego se cargan en un buffer temporal los datos que contenga el buffer de recepción de la UART1, en caso de no haber datos, termina la rutina.

El PIC-WEB además de enviar datos para transmitir hacia un nodo, también puede enviar comandos al control para administrar la tabla de enrutamiento guardada en éste, estos comandos pueden ser:

- Solicitar la tabla de enrutamiento
- Borrar entrada de la tabla
- Solicitar el identificador del nodo al que el concentrador está enviando información actualmente
- Solicitar la conexión con un medidor específico
- Solicitud de envío del comando ND(node discovery) al XBee para que los nodos respondan enviando al concentrador la ruta e identificador. Este comando se usa para actualizar la tabla de enrutamiento alojada en el módulo control

El control responderá a estos comandos enviando la información solicitada o simplemente con un mensaje de respuesta.

Estos comandos se generan en el PIC-WEB como solicitudes de la página web alojada en él.

De esta forma, una vez hayan llegado datos se revisa si es una trama con uno de los comandos mencionados anteriormente. Si es una trama de solicitud para borrar entrada de la tabla, se busca la entrada y se borra. Si la trama es para pedir el identificador del al que apunta el concentrador actualmente, éste se envía al PIC-WEB. Si es una trama para solicitar conexión con otro medidor, se modifican los registros necesarios para que se envíen los datos al nuevo destino. Si es una trama solicitando la tabla de enrutamiento, ésta es enviada al PIC-WEB. Y si la trama es para solicitar el envío de ND, el comando es enviado al XBee, este

comando obliga a que todos los nodos de la red envíen su identificador (NI), con esta información se construye la tabla de enrutamiento.

En caso de no ser una trama válida, todos los datos son empaquetados y enviados al XBee para su transmisión al nodo destino (nodo conectado actualmente con el concentrador), es decir, se asume que son datos para el medidor.

Ahora se analiza el algoritmo para procesar los datos provenientes del XBee, que se muestra en la figura. Todos los datos recibidos tienen que estar encapsulados en una trama API.

Primero se inicializan las variables, se cargan los datos del buffer de recepción a un buffer temporal, en caso de no haber datos se finaliza la rutina. En caso de que sí haya datos, se revisa si hay una trama API, se pueden recibir tres tipos de tramas.

La trama de indicador de registro de ruta está compuesta de la dirección y la ruta del nodo emisor, la dirección de cada uno de los nodos que forman un camino hasta el nodo destino, esta información es guardada en la tabla de enrutamiento. Esta trama es recibida junto con la respuesta del comando ND, enviado por los algoritmos anteriores, en ella viene la dirección y el identificador del nodo emisor del mensaje, información que es adjuntada a la entrada de la tabla especificada con la dirección del nodo. Cada vez que llega información de un nodo, la entrada se marca como activa, si la información de algún medidor que esté guardado en la tabla no llega, la entrada pasará a inactiva, de esta manera se puede saber qué nodos han perdido conexión con el concentrador.

Cuando se recibe una trama de paquete de datos recibidos, se llama a la rutina para desempaquetar los datos y una vez hecho esto son enviados al PIC-WEB.

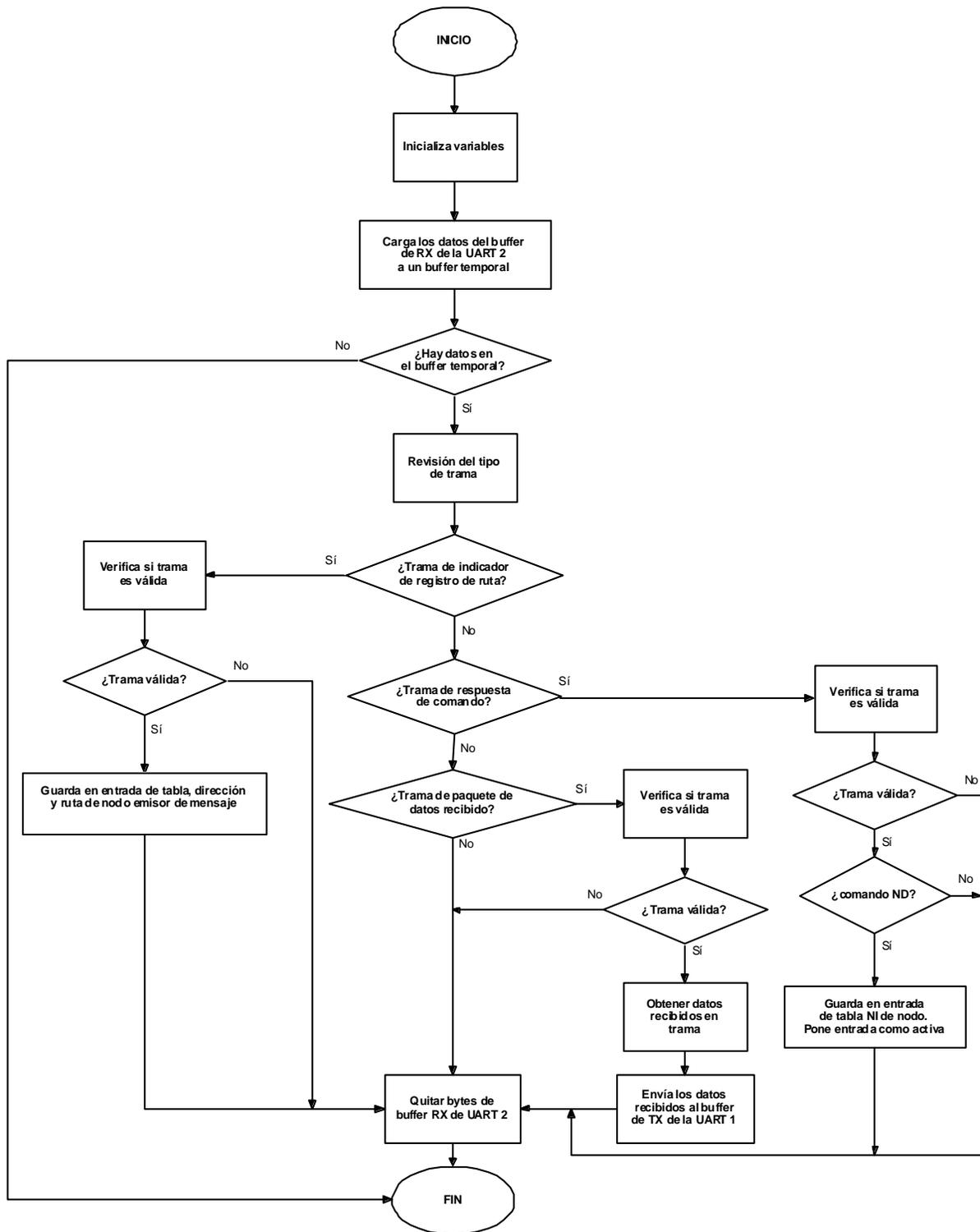


Figura 5.41 Algoritmo para procesar los datos recibidos del XBee

Las rutinas de las interrupciones de transmisión y recepción son iguales a las de las figuras 5.35 y 5.36 respectivamente. La rutina para la interrupción del Timer0 se presenta en la figura 5.42, donde cada vez que pasa un segundo, las variables contador1 y contador2 aumentan en una unidad, estas son utilizadas en el programa principal como se vio en la figura 5.39.

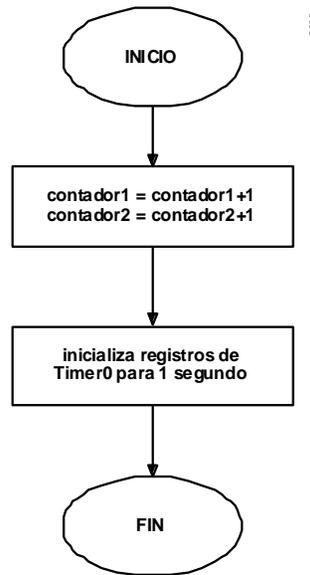


Figura 5.42 Interrupción de Timer 0

5.3.2.3 Módulo “servidor web” del diagrama de tercer nivel del “concentrador”

El servidor web es el dispositivo PIC-WEB el cual incorpora el programa de la pila TCP/IP de Microchip, de código abierto para ser modificado como se requiera.

Para el desarrollo del proyecto solamente se necesita que el dispositivo funciones como servidor web, alojando una página web donde se puede administrar la red; y además que funciones como un puente donde los datos que recibe por Ethernet sean enviados por la UART (RS-232).

En la figura 5.43 se muestra el diagrama de flujo principal del PIC-WEB.

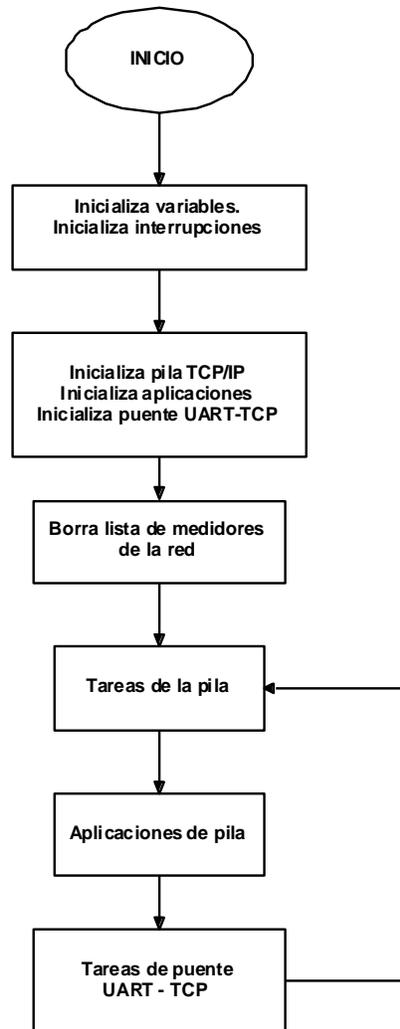


Figura 5.43 Diagrama de flujo del programa principal

Al iniciar, se inicializan las variables del sistema, y las interrupciones a utilizar. Posteriormente se inicializa la pila TCP/IP y las aplicaciones, que son las rutinas para manejar los paquetes y protocolos que se utilizan por internet. También se inicializa la rutina llamada puente UART-TCP, encargada de enviar los datos de Ethernet a la UART y viceversa.

En el PIC-WEB se guarda la lista de medidores que se obtiene desde el módulo control y es mostrada en la página web, la tabla es borrada al iniciar el sistema. Posteriormente se entra en el lazo donde los algoritmos “tareas de pila” y “aplicaciones de pila” manejan los paquetes Ethernet con protocolos de capas más

altas (protocolos MAC, TCP, HTTP), se encargan de administrar las conexiones HTTP para mostrar la página web y la de la aplicación “puente UART-TCP”, no se analizan pues son parte de la pila TCP/IP desarrollada por Microchip que no se modifica.

El algoritmo “tareas de puente UART-TCP” se encarga de tomar los datos ya desempquetados de la trama Ethernet y enviarlos por la UART o tomar los datos del buffer de la UART y empaquetarlos en tramas Ethernet para ser enviados a la un puerto específico con que se tiene conexión.

La figura 5.44 pertenece al algoritmo “tarea puente UART-TCP”, el cual se encarga de pasar la información de internet a la UART y viceversa, cuando exista conexión con un puerto de aplicación específico, en este caso se utiliza el puerto 9761 para crear una conexión con un cliente remoto.

Las variables e interrupciones que utiliza esta aplicación son inicializadas desde el programa principal, cuando la rutina es llamada desde el lazo infinito en la rutina principal, primero se verifica si un equipo remoto se ha conectado al puerto especificado anteriormente, si no ha habido conexión finaliza la rutina, en caso contrario continúa la rutina, se reinician los buffers a utilizar, luego los datos del buffer de recepción de la aplicación son copiados a un buffer temporal, si no hay datos, la rutina continúa revisando el buffer de la UART, caso contrario, los datos recibidos son enviados al buffer de transmisión de la UART para ser enviados al módulo de control. Luego se revisa si hay información en el buffer de recepción de la UART, en caso de haber, se copian en el buffer de transmisión de la aplicación para enviarlos por el puerto especificado y la rutina termina.

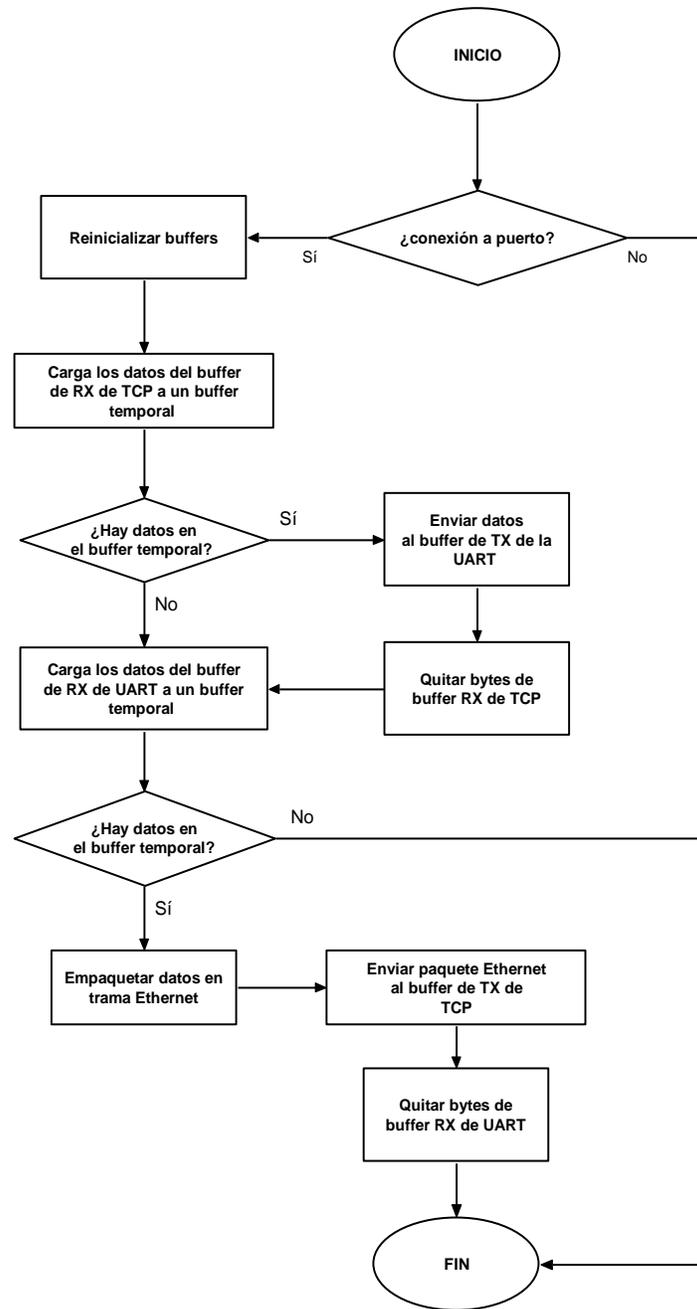


Figura 5.44 Algoritmo tarea puente UART - TCP

Para que el usuario pueda tener información de la red, se crea una página web donde se puede observar la lista de medidores que componen a la red, y si estos tienen comunicación o no con el concentrador ya que pueden perder la conexión por fallas en el dispositivo o por obstáculos que se interpongan. Además, desde

esta página se pueden borrar medidores de la lista, y se escoge con cual medidor de la red se desea hacer conexión para poder interrogarlo.

El algoritmo utilizado para utilizar la página web se observa en la figura 5.46, tiene la opción de escoger entre mostrar la lista de medidores, donde se marcan los medidores que sí tienen conexión con el concentrador. Además se puede borrar un medidor de la lista y escoger con cual medidor se quiere hacer conexión. La página también muestra con cual medidor se tiene conexión actualmente.

Hay que destacar que para agregar un medidor a la lista sólo se necesita activar el circuito nodo y el XBee los demás dispositivos se encargan de agregarlo a la red.

Puede ser que el XBee haya pertenecido a otra red, por lo que no se agregará a la nueva red una vez encendido, en este caso se requiere presionar el botón para asociarlo a la red, esto se explicará con detalle en el manual de usuario.

La figura 5.45 muestra la ventana principal de la página web, a la izquierda se observan las opciones para la administración de la red.



Figura 5.45 Ventana principal de la página web

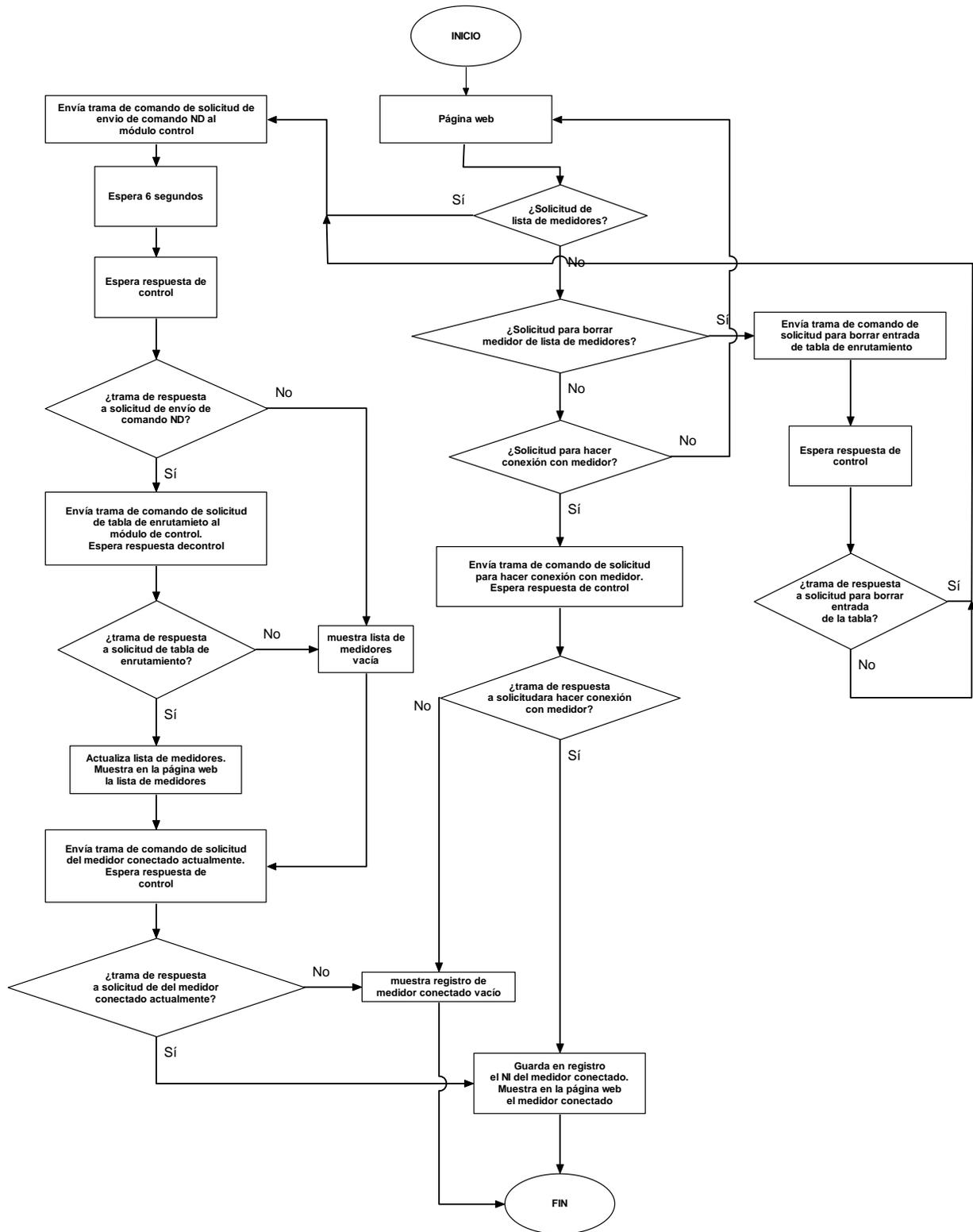


Figura 5.46 Algoritmo para manejar la página web

5.3.3 “Metercat” programa para la lectura de medidores

El sistema desarrollado, en resumen, es un canal de comunicación remota entre un programa de aplicación instalado en una CPU y un medidor ALPHA A3 perteneciente a la red inalámbrica. El programa se utiliza para hacer la lectura remota del medidor.

El ICE posee dos programas de aplicación para interrogar estos medidores, como el sistema es sólo un puente, se puede utilizar cualquier programa, sin embargo a lo largo del proyecto se ha utilizado el Metercat, programa desarrollado por Elster para leer y programar los medidores ALPHA A3, y que se ha utilizado en el ICE por varios años.

Las características más importantes por las que se utiliza el Metercat son las siguientes:

- El programa se instala bajo el sistema operativo Windows, en una plataforma de 32 bits (Windows 2000 o XP).
- Lee los registros y memoria del medidor.
- Se puede programar el medidor para que funcione como se requiera. Por ejemplo, se programa el tiempo de registro de lecturas, las variables que se van a guardar, se activan los puertos de comunicación.
- Genera diferentes tipos de archivos con las lecturas del medidor. Por ejemplo ASCII, HHF.
- Soporta comunicación vía puerto óptico, modem, serial (RS-232/RS-485) y TCP/IP.

En este informe no se analizan los algoritmos del programa, que es software propietario. Y su uso se explica en el manual de usuario.

Capítulo 6 Análisis de Resultados

A continuación se presentan los resultados representativos del proyecto desarrollado, que serán analizados posteriormente.

6.1 Resultados

Para probar el sistema se necesita que tanto el concentrador como una CPU pertenezcan a una misma red, por lo que al concentrador se le asigna una dirección IP disponible en la red y se conecta a un terminal RJ-45 perteneciente a la misma. De esta manera la CPU tiene acceso al concentrador, se puede entrar a la página web almacenada en el concentrador a través de la dirección IP de éste, utilizando cualquier navegador web. La figura 6.1 muestra el navegador web con la página principal.

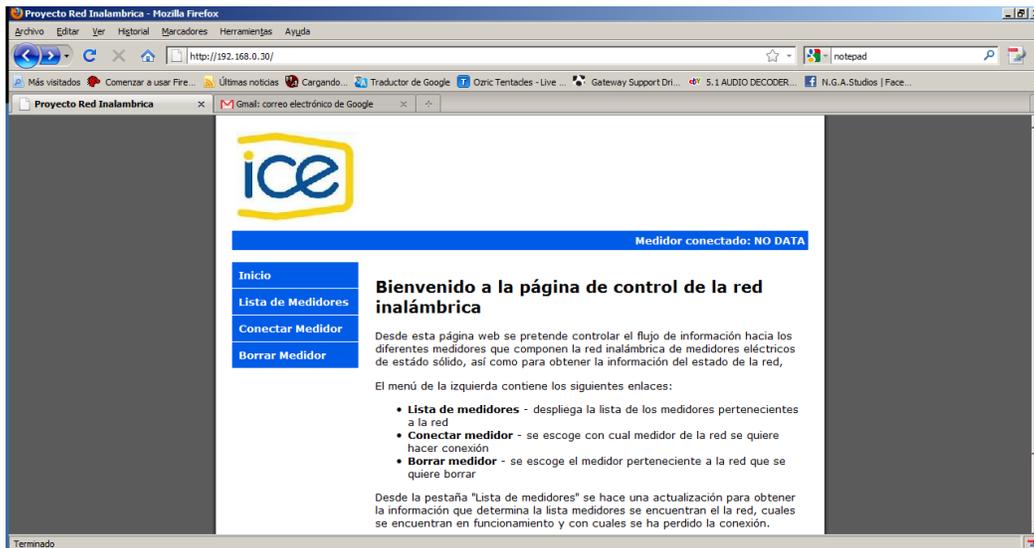


Figura 6.1 Ventana principal de la página web vista con un navegador web

La administración de la red se realiza a través de esta página web, la figura 6.2 muestra la secuencia cuando se escoge la opción “lista de medidores” para que se muestre la lista de los medidores que pertenecen a la red, la casilla de “actividad”

Diseño de una red de comunicación inalámbrica de medidores eléctricos de estado sólido utilizando el conjunto de protocolos ZigBee

especifica si existe comunicación con el nodo o no. la figura 6.3 muestra una lista donde se ha perdido conexión con dos de los medidores.

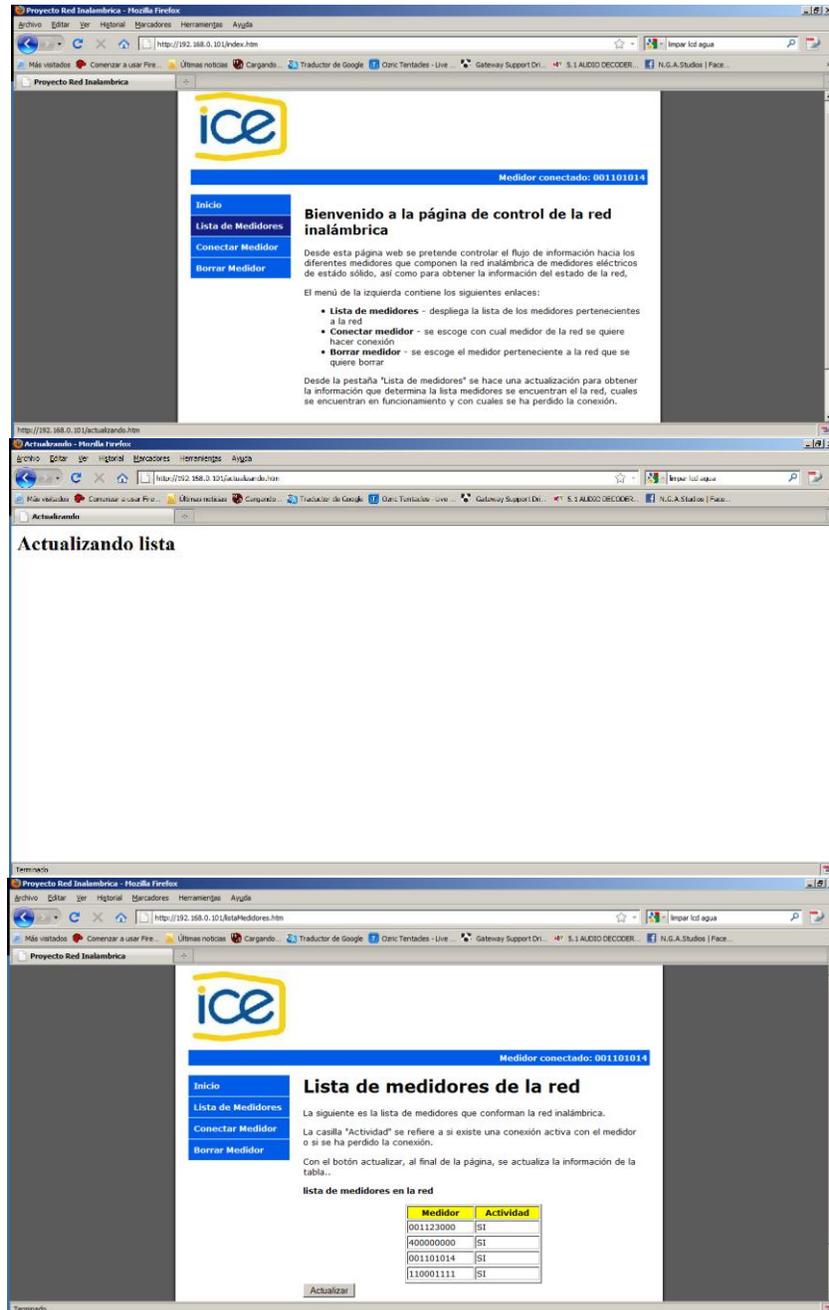


Figura 6.2 Secuencia para obtener la lista de medidores

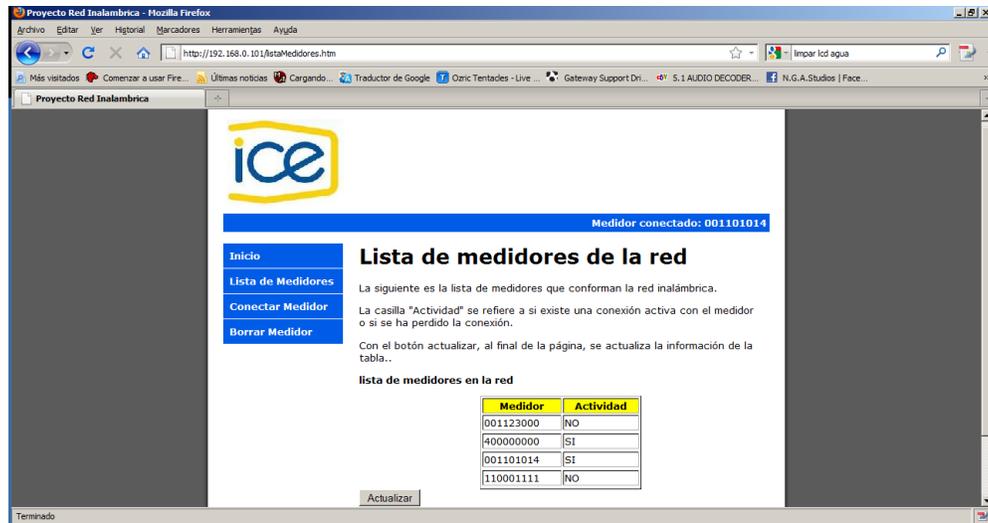


Figura 6.3 Lista de medidores mostrando desconexión de medidores en la red

Escogiendo una de las opciones que permanecen siempre al lado izquierdo de la página se pueden realizar otras acciones. La figura 6.4 muestra la secuencia para el borrado de una de las entradas del medidor desde la página actual. El medidor a borrar se escoge desde una lista desplegable donde aparecen todos los medidores que conforman la lista de medidores.

Se puede borrar sólo una entrada a la vez, cada vez que hay un borrado se vuelve a la lista de medidores, para borrar otra entrada se debe volver a escoger la opción de borrado.

La lectura de los medidores se efectúa uno a la vez, por lo que desde la página web se escoge qué medidor va a ser interrogado. La página muestra qué medidor se encuentra en conexión directa con el concentrador, utilizando la opción “conectar medidor” se escoge el medidor con el que se quiere tener conexión. La figura 6.5 muestra la secuencia para escoger la conexión con un medidor de la lista.

Diseño de una red de comunicación inalámbrica de medidores eléctricos de estado sólido utilizando el conjunto de protocolos ZigBee

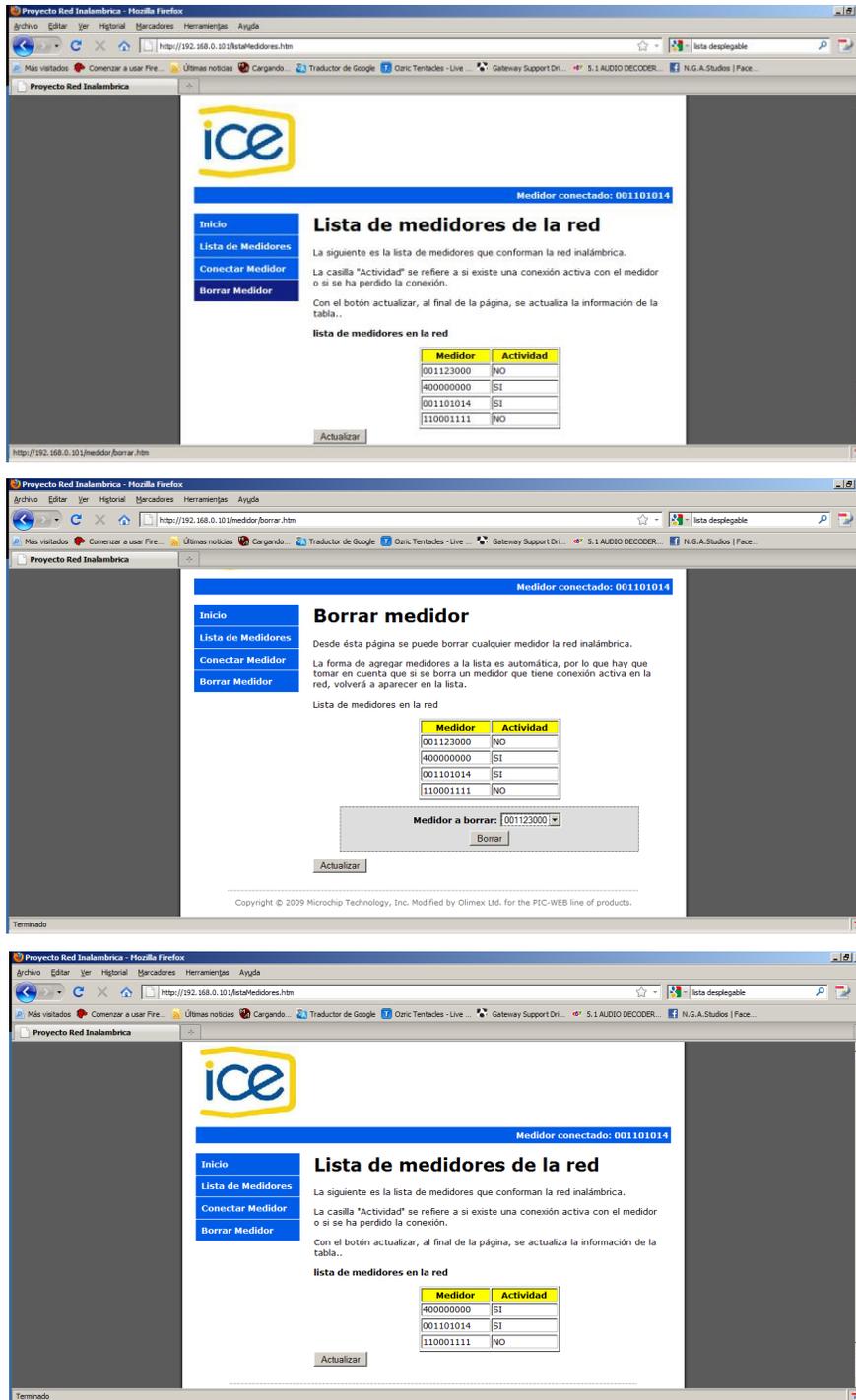


Figura 6.4 Secuencia para borrar una entrada de la lista de medidores

Diseño de una red de comunicación inalámbrica de medidores eléctricos de estado sólido utilizando el conjunto de protocolos ZigBee

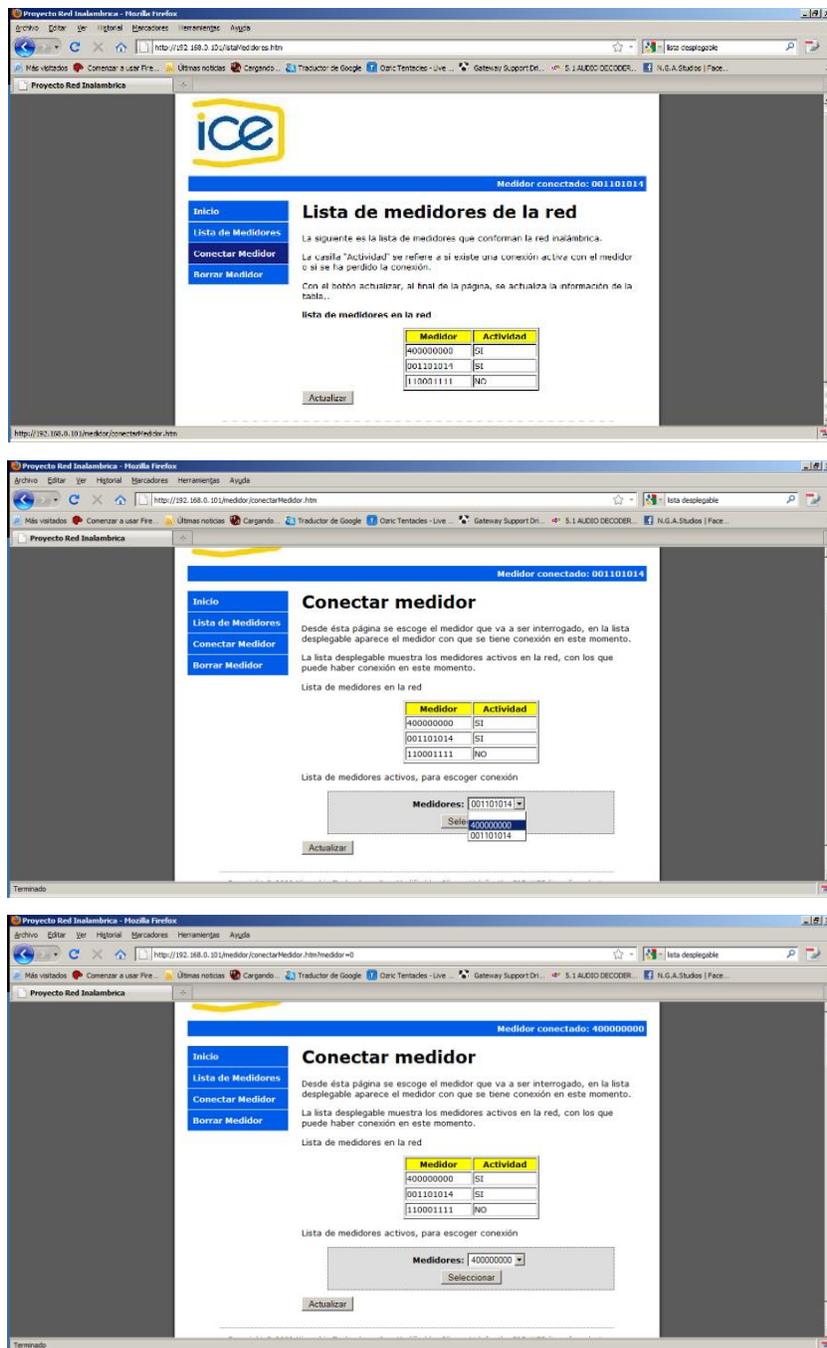


Figura 6.5 Secuencia para hacer conexión con otro medidor

El objetivo primordial del proyecto es poder tener comunicación remota con el medidor, creando un canal de comunicación transparente entre el programa de lectura y el medidor. Los resultados presentados para demostrar el funcionamiento, primero, son la transmisión de bytes en código ASCII como prueba de que existe comunicación entre dos puntos. La prueba se hace con el

concentrador conectado en una terminal RJ-45 con conexión a una red LAN, misma a la que se encuentra conectada una CPU, donde también se conecta un nodo por puerto serial. Posteriormente se realiza otra prueba, donde la CPU se encuentra a una distancia fuera del rango de transmisión del concentrador, por lo que se utiliza otro nodo como repetidor para poder comunicarse con el concentrador.

En las pruebas se utilizó una sola CPU, donde se utilizan dos programas de aplicación, uno llamado “Hercules” con el cual se conecta vía TCP/IP al concentrador, y, el nodo se conecta a través del puerto serial RS-232 al CPU, se utiliza la terminal serial del programa X-CTU para conectarse con el nodo.

La prueba consiste en enviar paquetes de 255 bytes en código ASCII, simulando el envío de datos entre el medidor y el programa para la lectura Metercat.

La figura 6.6 muestra el envío de datos a través de internet utilizando la dirección IP 192.168.0.30 y el puerto 9761, correspondiente a la aplicación “puente TCP-UART” del concentrador. La figura 6.7 muestra los datos recibidos por el nodo.

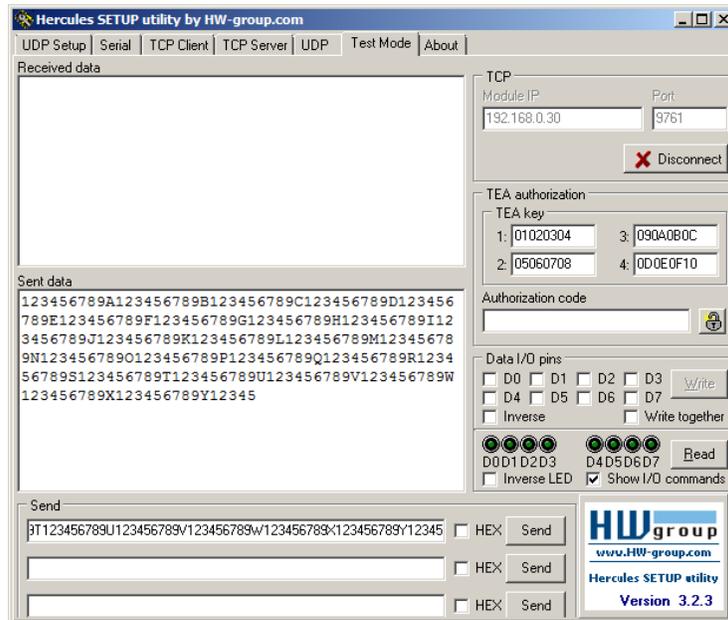


Figura 6.6 Transmisión de 255 bytes vía TCP/IP

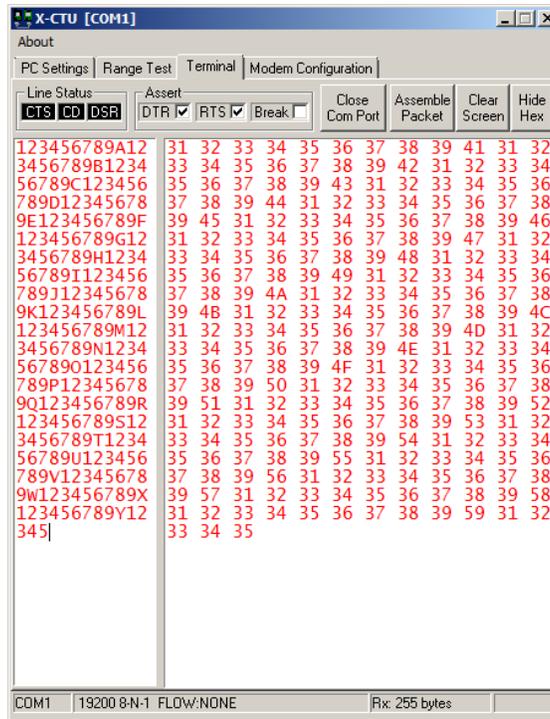


Figura 6.7 Recepción de 255 bytes vía RS-232

Las figuras 6.8 y 6.9 muestran el proceso contrario, la primera la recepción de datos por TCP/IP y la segunda la transmisión vía RS-232.

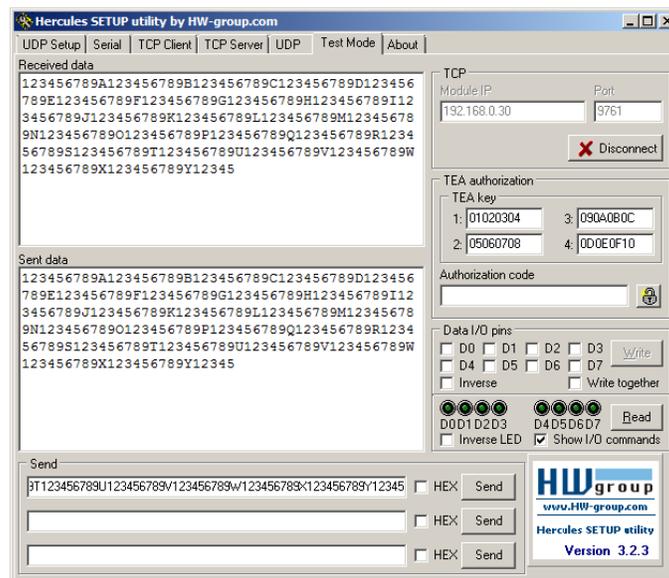


Figura 6.8 Recepción de 255 bytes vía TCP/IP

Diseño de una red de comunicación inalámbrica de medidores eléctricos de estado sólido utilizando el conjunto de protocolos ZigBee

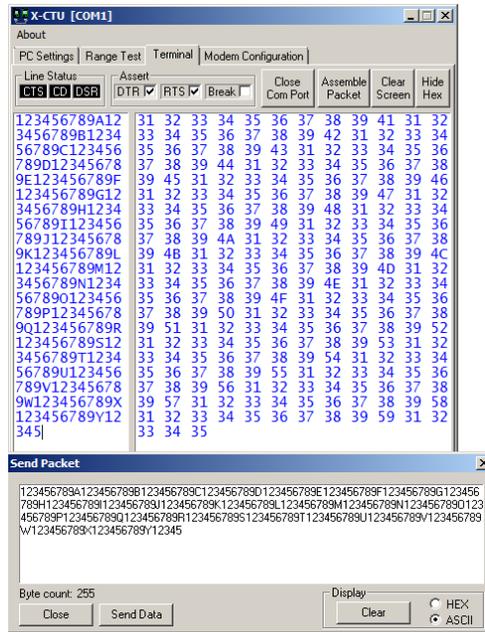


Figura 6.9 Transmisión de 255 bytes vía RS-232

Una vez que se escoge desde la página web el medidor a interrogar, se realiza la lectura del medidor a través del sistema utilizando el Metercat. Los datos obtenidos se exportan a un archivo de extensión PNR, que es un archivo de impresión y el cual puede ser manipulado con un editor de texto ó una hoja de cálculo, utilizando para ello una aplicación como Microsoft Excel.

La figura 6.10 corresponde al momento en que el Metercat identifica un medidor ALPHA A3 por el puerto de conexión.

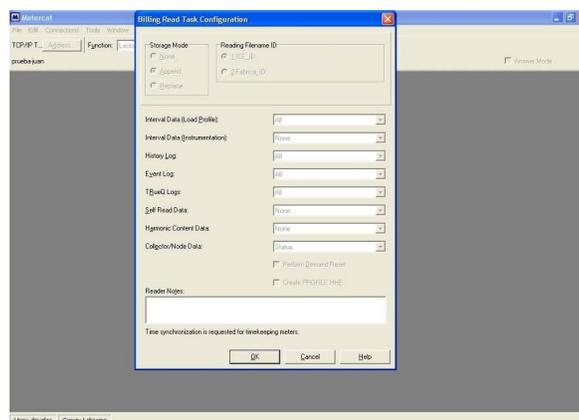


Figura 6.10 El Metercat identifica un medidor Alpha A3 y se encuentra listo para comenzar la lectura

Diseño de una red de comunicación inalámbrica de medidores eléctricos de estado sólido utilizando el conjunto de protocolos ZigBee

En la figura 6.11 se observa el momento en que el Metercat interroga al medidor.

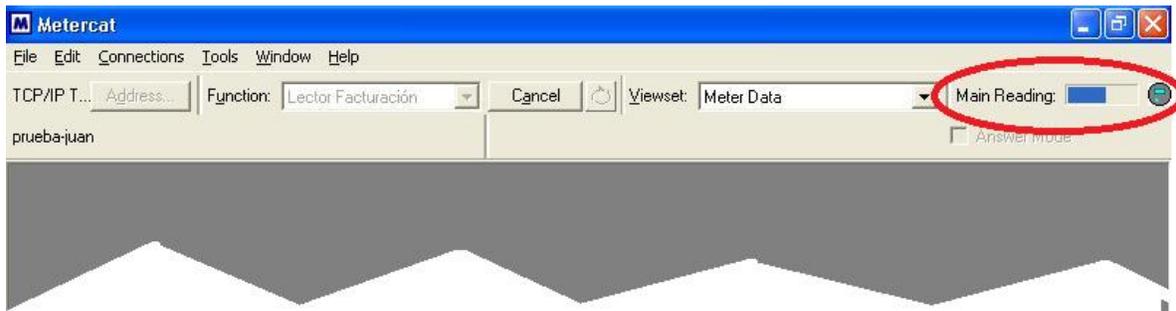


Figura 6.11 El Metercat interroga al medidor

La figura 6.12 muestra la ventana que indica que finaliza la lectura satisfactoria del medidor.

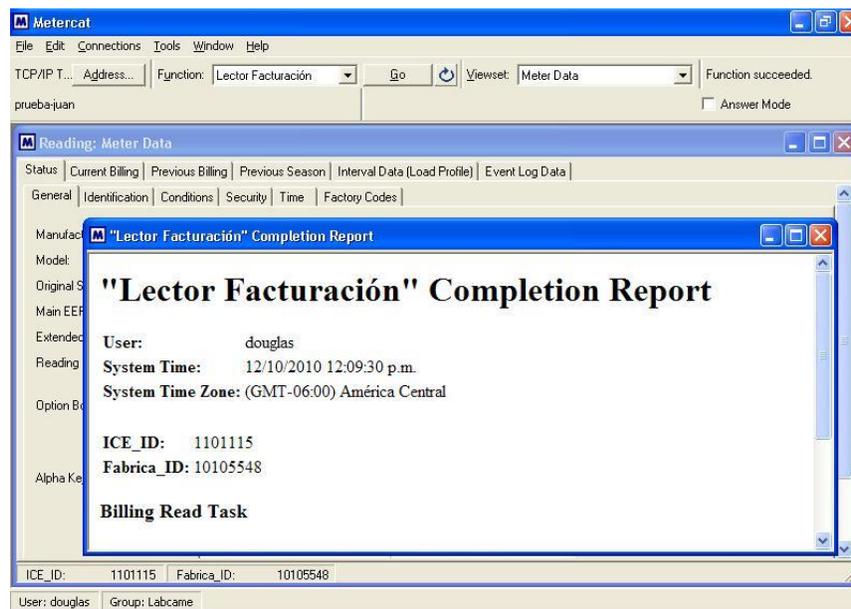


Figura 6.12 Finaliza satisfactoriamente la lectura del medidor

La ventana principal con la información del medidor leído se observa en la figura 6.13.

Diseño de una red de comunicación inalámbrica de medidores eléctricos de estado sólido utilizando el conjunto de protocolos ZigBee

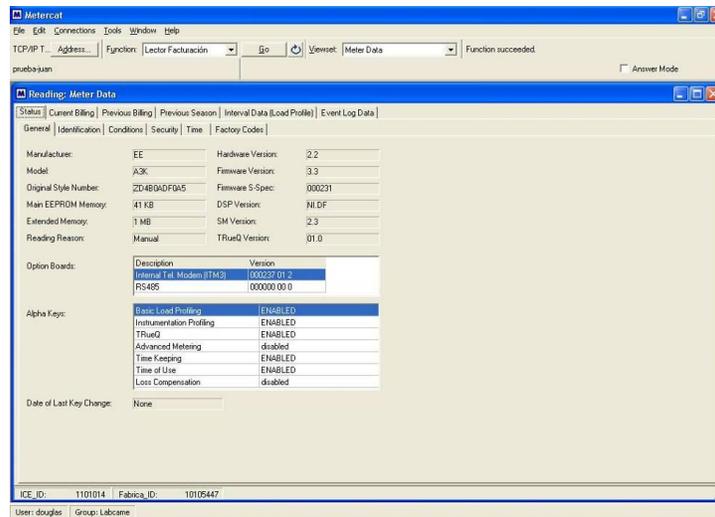


Figura 6.13 Ventana principal del Metercat al finalizar la lectura del medidor

Luego de realizar la lectura del medidor mediante el Metercat, se exporta el archivo PNR a una carpeta para luego ser enviado al encargado de hacer el reporte de medición.

La figura 6.14 muestra un fragmento del archivo PNR obtenido visto desde un editor de texto.

El archivo PNR es convertido a un reporte de facturación utilizando una macro en Excel creada por personal del laboratorio, la figura 6.15 muestra el reporte final.

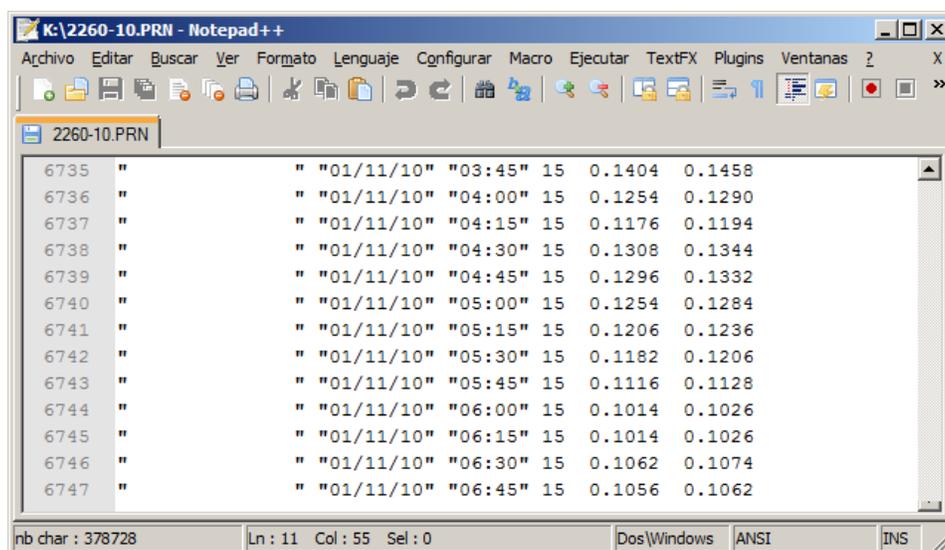


Figura 6.14 Archivo PRN obtenido del medidor a través del Metercat

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD
TOTALIZACION DE MEDIDORES TOU - TARIFA TMT
UEN SERVICIO AL CLIENTE - AREA MEDICION**

NOMBRE DE TOTALIZACION : CLIENTE
 MEDIDORES TOTALIZADOS : 2260
 RANGO DE FECHAS : 01/10/2010 - 31/10/2010 INTERVALOS : 15 MINUTOS

PERIODO PUNTA - DE 10:00 - 12:30 Y 17:30 - 20:00

	FECHA	HORA	KW	KVA	FP
1.	12 / 10 / 2010	11:45	852.60	999.60	0.85
2.	12 / 10 / 2010	10:15	848.40	1,008.00	0.84
3.	12 / 10 / 2010	10:45	842.10	989.10	0.85
4.	05 / 10 / 2010	10:30	842.10	976.50	0.86
5.	12 / 10 / 2010	10:30	840.00	987.00	0.85

ENERGIA : 102,481 KWH 113,412 KVAH F.P. : 0.90 F.C. : 0.77

TOTAL DE INTERVALOS DE ENERGIA : 620

PERIODO VALLE - DE 06:00 - 10:00 Y 12:30 - 17:30

	FECHA	HORA	KW	KVA	FP
1.	07 / 10 / 2010	08:00	879.90	1,020.60	0.86
2.	07 / 10 / 2010	08:15	875.70	1,020.60	0.85
3.	07 / 10 / 2010	07:45	867.30	1,008.00	0.86
4.	06 / 10 / 2010	08:45	858.90	993.30	0.86
5.	07 / 10 / 2010	07:30	856.80	989.10	0.86

ENERGIA 177,436 KWH 197,039 KVAH F.P. : 0.90 F.C. : 0.72

TOTAL INTERVALOS DE ENERGÍA 1116

PERIODO NOCTURNO - DE 20:00 - 06:00

	FECHA	HORA	KW	KVA	FP.
1.	08 / 10 / 2010	03:00	842.10	978.60	0.86
2.	30 / 10 / 2010	21:15	837.90	945.00	0.88
3.	30 / 10 / 2010	21:00	835.80	938.70	0.89
4.	08 / 10 / 2010	03:30	833.70	970.20	0.85
5.	30 / 10 / 2010	21:45	831.60	934.50	0.88

ENERGIA 206,499 KWH 228,228 KVAH F.P. 0.90 F.C. : 0.79

TOTAL INTERVALOS DE ENERGÍA : 1240

F.C. TOTAL : 0.74 SUMATORIA DE ENERGÍAS 486,416.17 DEMANDA MAYOR 879.90

Figura 6.15 Reporte de facturación final

Posteriormente se realiza la lectura del mismo medidor pero esta vez se realiza de forma directa, conectando el puerto óptico del medidor a al puerto serial de un

CPU mediante un cable especial, para comparar los archivos en busca de diferencias. El resultado obtenido fueron los mismos de las figuras 6.14 y 6.15.

Otra prueba que se realizó es verificar el cambio de ruta entre el coordinador y un nodo en casos donde falla un nodo intermedio.

La figura 6.16 muestra la trama donde viene la información de la ruta hacia el nodo con la dirección 86A6, donde se observa que se requiere pasar la información a través del nodo C73B.

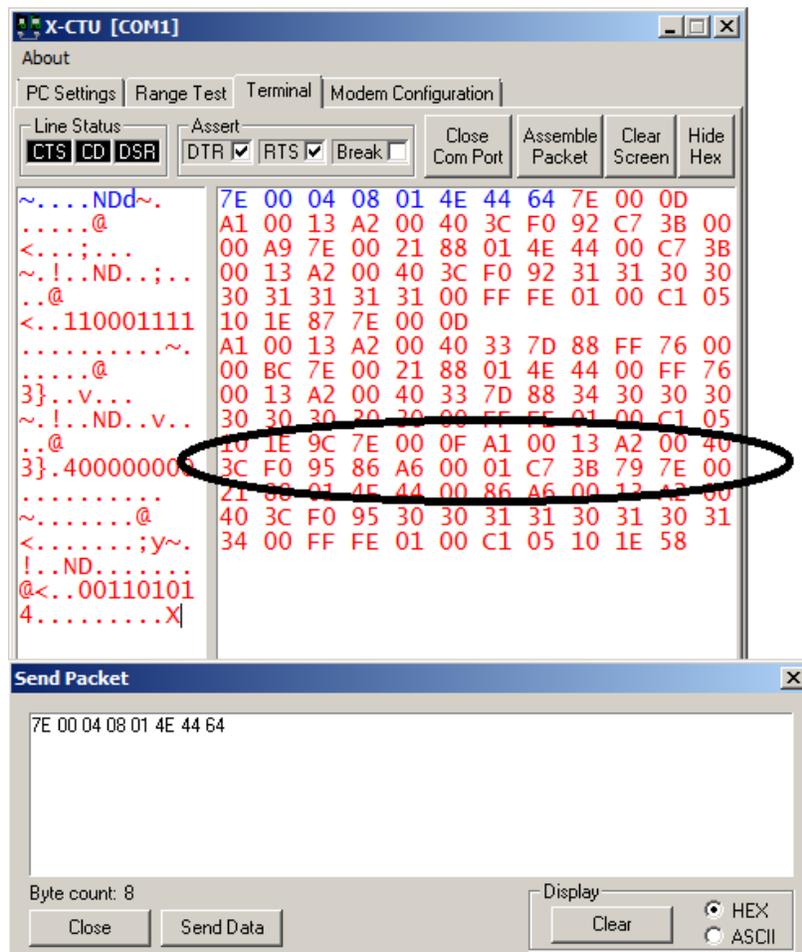


Figura 6.16 Ruta hacia el nodo 86A6 a través del nodo C73B

Las tramas se obtienen al enviar por el XBee del coordinador, el comando ND (4E44 en hexadecimal), para descubrir los nodos pertenecientes a la red.

La figura 6.17 muestra el cambio en la ruta, el camino para llegar al medidor 86A6 ahora se realiza por el nodo FF76 y además que no llega ningún mensaje del nodo C73B, que era por donde se conectaba anteriormente.

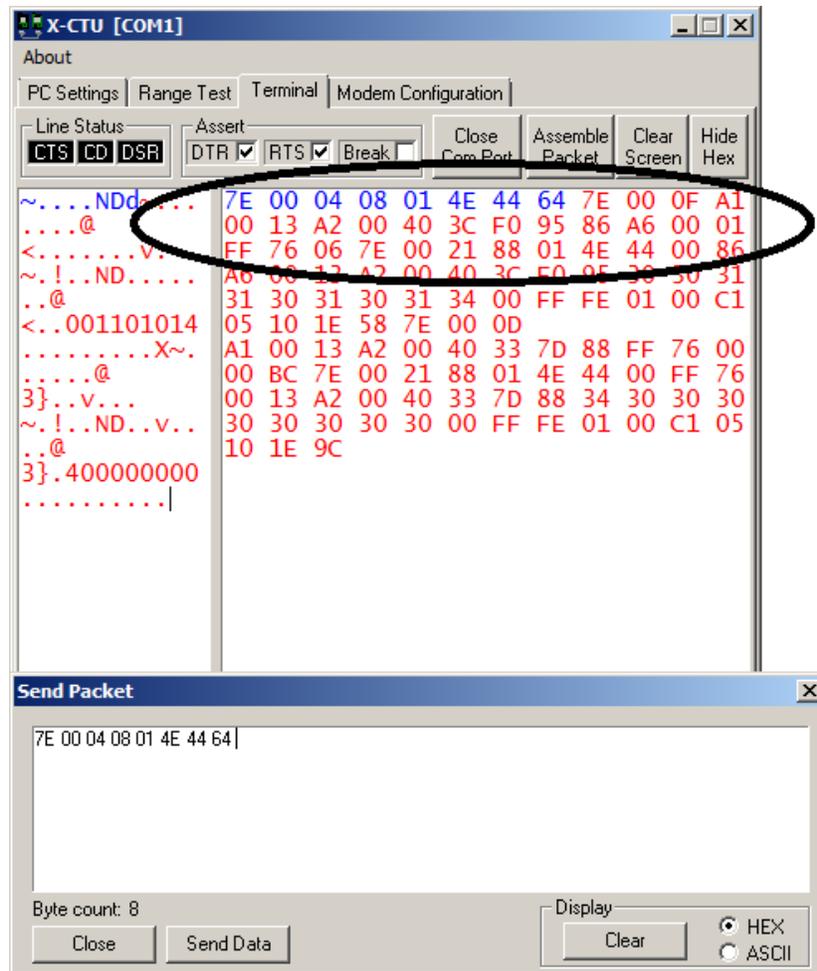


Figura 6.17 Ruta hacia el nodo 86A6 a través del nodo FF76

6.2 Análisis de resultados

En la figura 6.1 se observa la página web diseñada y guardada en el dispositivo PIC-WEB, esta se ve desde una CPU conectada a una red LAN a la cual el PIC-WEB también está conectado. La dirección asignada en este caso es la 192.168.0.30. Con esto se demuestra que la funcionalidad del servidor web instalado en el módulo concentrador.

Las figuras 6.2 a 6.5 de la sección de resultados, muestran el funcionamiento correcto de las rutinas para administrar la red desde la página web.

La figura 6.2 corresponde a la secuencia de acciones que pasan cuando se escoge la opción “lista de medidores” del menú localizado a la izquierda de la página web. En el momento de seleccionar la opción, el concentrador envía un comando para descubrir los nodos de la red (ND), mientras esto sucede, se pasa a una página temporal la cual indica que se está actualizando la lista, ésta mientras se carga para ser mostrada en la página. El proceso dura 7 segundos, pues al enviar el comando ND (node discovery), los nodos responden en un tiempo al azar entre 0 y 6 segundos, esto para que no se envíen todos los datos a la vez y saturar al concentrador con la información. El resultado es la lista de los medidores conectados (que son lo mismo que los identificadores de nodo, o NI), que es la información relevante para el usuario. La figura muestra una lista de cuatro medidores conectados, todos en comunicación con el concentrador. El dispositivo fue configurado para poder almacenar una tabla de enrutamiento de hasta 30 nodos, sin embargo para los alcances de este proyecto la red funciona a un tercio de la capacidad total.

La figura 6.3 muestra una lista de medidores obtenida cuando existe una incomunicación con alguno de los medidores, esto pasa cuando el concentrador recibe la respuesta a un comando ND por parte de los nodos de la red y al revisar la tabla de enrutamiento observa que no todos los nodos respondieron al último comando, por lo que avisa que no tiene conexión con estos. Esta incomunicación puede obedecer a que existe algún tipo de obstrucción entre el nodo y la red, esta obstrucción puede ser temporal, por lo que se puede hacer una actualización de la tabla un tiempo después, para ver si se restablece la conexión, en caso de que la desconexión dure mucho tiempo se puede suponer que la obstrucción continúa ahí o en el peor de los casos que el nodo se ha apagado o dejado de funcionar, en este caso se puede enviar personal al lugar para que hagan una inspección al dispositivo para ver las causas de la desconexión y arreglar el problema.

La lista de medidores se crea de forma autónoma, una vez que el circuito nodo alimentado se encuentre al alcance de la red y responda al comando ND, el concentrador lo toma como una nueva entrada en la lista, sin embargo, para quitar un medidor de la lista, solamente se puede hacer de forma manual, donde el usuario decide que un nodo desconectado ya no va a formar parte de la red, del esta forma al escoger la opción “borrar medidor”, en la página aparece una lista desplegable con los medidores que conforman la lista, al escoger uno que no tenga conexión (columna de “Actividad” con un NO), el medidor es borrado de la lista, como muestra la figura 6.4. Esta acción lo que hace es enviar el comando de borrado con el identificador del nodo al módulo control para que este borre la entrada de la tabla de enrutamiento y luego se envía el código para enviar un mensaje ND a la red para actualizar la lista de medidores y pedirla otra vez.

Por esta razón si se borra un medidor que sí presenta actividad, la entrada no se borra, puesto que a pesar de que la entrada fue borrada, el concentrador recibe nuevamente la respuesta del nodo al comando ND y lo vuelve a agregar a la lista.

La figura 6.5 muestra cómo seleccionar el medidor a interrogar a través de una lista desplegable que contiene los medidores que presentan conexión con el concentrador, pues si un nodo no tiene conexión va a ser inútil el tratar de interrogarlo. Cuando se escoge el medidor lo que el sistema hace es cambiar la dirección destino que tiene el concentrador, también se agrega la entrada de la lista de enrutamiento del módulo control al XBee para que éste se encuentre preparado para enviar los datos al destino escogido sin necesidad de hacer un descubrimiento de ruta (route discovery). Mediante esta acción, el canal entre la CPU y el medidor escogido se encuentra listo. Además, la página web muestra siempre el medidor al que se encuentra “apuntando” el concentrador, se puede ver a la derecha, dentro de la línea azul que se encuentra debajo del logo ICE, también aparece como escogido por defecto en la ventana “conectar medidor”.

Hasta este punto se demuestra que existe una comunicación bidireccional entre el usuario y el concentrador a través de la página web. También que hay comunicación entre todos los módulos de comunicación de cada nodo en la red.

Cuando en la página web se muestra un medidor como conectado con el concentrador, se puede tener una comunicación bidireccional entre el concentrador y el nodo conectado. Las figuras 6.6 a 6.9 de la sección de resultados, muestran los resultados obtenidos en las pruebas de comunicación entre el concentrador y un nodo.

Para verificar que el canal funciona adecuadamente, se realiza una prueba donde se envían paquetes de datos tanto por Ethernet (ver figura 6.6), como por el puerto serial de la CPU (figura 6.9). En la figura 6.7 se observan los datos recibidos por el nodo, que los envía al CPU por el puerto RS-232, mientras que la figura 6.8 muestra los datos recibidos por el concentrador y enviados por Ethernet. En ambos casos se observa que los datos enviados por uno de los lados es recibido de forma íntegra en el otro extremo. La información ASCII de prueba fue de una longitud de 255 bytes, posteriormente se realizaron envíos de una mayor cantidad de datos mayor para ver el comportamiento del sistema, el cual manejó paquetes de hasta 1024 bytes sin problemas, lo que se considera suficiente para mantener una comunicación estable entre el programa de lectura y el medidor.

Luego de realizar envíos de caracteres ASCII, se cambió la conexión RS-232 del nodo por una RS-485 para conectarlo con el medidor.

La lectura del medidor se realiza a través del programa de lectura Metercat. Desde aquí se configura la conexión para que sea por medio de Ethernet, con la dirección IP asignada al concentrador (192.168.0.30) y a través del puerto 9761 (Puente TCP-UART). Para el Metercat la lectura del medidor se realiza por Ethernet, mientras que en la realidad el canal es un conjunto de tecnologías de comunicación, Ethernet, RS-232, ZigBee y RS-485, las cuales son transparentes para el programa de lectura y para el medidor. Las figuras 6.10 a 6.13 muestran el proceso de lectura.

La figura 6.10 muestra el momento en que el Metercat reconoce un medidor Alpha A3 y se encuentra listo para iniciar la lectura.

La figura 6.11 muestra que el sistema está funcionando, que se forma un canal transparente entre el Metercat y el medidor, mientras que la figura 6.12 exhibe un mensaje de lectura satisfactoria. En la figura 6.13 se observa la ventana principal del Metercat con la información del medidor leído.

La figura 6.14 muestra el archivo exportado con extensión PRN, el archivo fuente del medidor con el que se genera el reporte de facturación. Para revisar que el sistema envía los datos de forma correcta, se hace una lectura directa a través del puerto óptico de medidor conectado al puerto serial del CPU. El archivo obtenido es idéntico al obtenido utilizando el sistema desarrollado, por tanto se genera el mismo reporte de facturación mostrado en la figura 6.15 utilizando los dos métodos citados anteriormente. Cabe destacar que las dos lecturas se hicieron entre el intervalo de tiempo de lectura de 15 minutos, por lo que no se van a obtener más datos en el momento de realizar la segunda medición.

De este modo, se corrobora que el sistema es eficaz, obteniendo el mismo resultado que realizando una lectura directa al medidor.

Para probar la autocorrección de rutas se conecta el circuito de comunicación al puerto serial del CPU para poder observar los datos que provienen de la interfaz serial del XBee generados por la llegada de paquetes a través del protocolo ZigBee.

Cuando se envía el comando ND al XBee, este envía el comando a todos los nodos para que estos respondan enviando su NI, pero además, antes de recibir la respuesta del comando NI, se recibe una trama de registro de ruta del mismo nodo, donde se obtiene la ruta hacia el nodo. Por tanto la trama que más interesa analizar es la del registro de ruta, que tiene la siguiente estructura

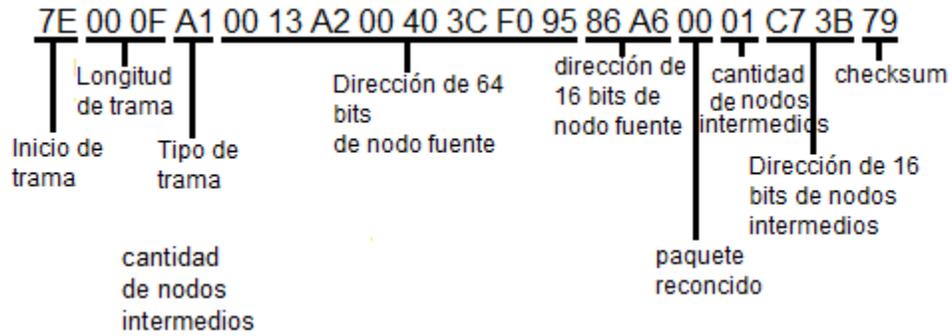


Figura 6.18 Estructura de trama registro de ruta (tipo de trama: A1)

En la figura 6.16 se muestra que para llegar al nodo con dirección de 16 bits igual a 86A6 se requiere realizar un “salto” a través del nodo C73B.

En caso de que la conexión del nodo falle, cuando se envíen los mensajes de solicitud de ruta, se regeneraran las rutas, y si existe otro nodo que sí tenga conexión con el nodo 86A6, se enviará como nueva ruta. Esto se muestra en la figura 6.17, donde, sabiendo que el nodo con la dirección FF76, es vecino del nodo 86A6, al igual que el C73B, se desconecta este último para simular una falla en la red. El resultado es la creación de una nueva ruta al nodo 86A6 a través del nodo FF76.

Capítulo 7 Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Es posible crear un canal de comunicación transparente entre el programa de aplicación Metercat y un medidor Alpha A3 utilizando diferentes tecnologías de comunicación.
- Mediante el uso de dispositivos ZigBee se puede crear una red inalámbrica con topología de malla con un punto colector de información.
- Se logró diseñar una red de 10 medidores Alpha A3 expandible a 30 medidores.
- Es posible conectar la red inalámbrica a internet mediante una puerta de enlace en el punto colector de información.
- La puerta a internet puede alojar una página web y funcionar como un servidor web.
- El usuario puede tener un informe del estado de la red a través de una página web.
- El usuario puede administrar la red a través de una página web.
- El protocolo ZigBee tiene la capacidad de encontrar la mejor ruta entre nodos.
- El protocolo ZigBee tiene la capacidad de variar la mejor ruta entre nodos en caso de fallar un dispositivo en la red.
- La tecnología ZigBee es un efectivo y económico sistema de comunicación para la lectura remota de medidores.

7.2 Recomendaciones

Para llegar a automatizar el sistema, esto es que se pueda programar el Metercat para hacer la lectura secuencial de los medidores de forma automática, se debe configurar la puerta de enlace a internet para que a cada medidor se le asigne un puerto de red, ya que como se encuentra configurado, el cambio de medidor se hace manual a través de la página web y el programa de aplicación se conecta a un único puerto de red.

El sistema está limitado a manejar 30 medidores debido a la tabla de enrutamiento que se guarda en el submódulo control del módulo concentrador. La tabla no puede hacerse muy grande debido a las limitaciones de la memoria RAM del microcontrolador, sin embargo, utilizando la memoria EEPROM y un algoritmo para el manejo de memoria virtual, se puede aumentar el tamaño de la tabla de enrutamiento, así la tabla estaría limitada por la memoria EEPROM que es mucho más grande que la memoria RAM.

En caso de que un nodo se encuentre fuera del rango de cobertura de la red, se debe poner un nodo repetidor que amplíe la cobertura de la red hasta donde se encuentra instalado el nodo.

También se puede intercambiar el transceptor por uno de la serie XBee Pro, con mayor alcance a la versión estándar.

Se debe de asegurar que un nodo no esté a más de 10 “saltos” del concentrador pues es la distancia máxima permitida por los dispositivos XBee.

Aunque el sistema lo soporte, no es recomendable hacer redes con la capacidad máxima de nodos, debido a que puede haber una saturación en la comunicación debido a la gran cantidad de transmisiones broadcast que se generan para mantener actualizadas las rutas.

Se puede tener un mayor control en las fallas de la red creando un mapa de red, en el cual se observen los caminos hacia cada medidor, para así en caso de que

varios queden desconectados, poder saber si el fallo es en cada uno de los nodos o si un nodo está dejando incomunicado a otros nodos.

La puerta de enlace de la red ZigBee con las computadoras del ICE se puede cambiar por otro tipo de tecnología, por ejemplo Wi-Fi o red celular.

La comunicación RS-485 con los medidores puede cambiarse por otro sistema de comunicación serial como lo es módem telefónico o RS-232.

La página web puede bloquearse a accesos no autorizados añadiendo una contraseña de acceso.

Bibliografía

1. CBC News Online. Smart meters: FAQs [en línea]. Noviembre 3, 2005, [consulta: 24 noviembre 2010].
URL <http://www.cbc.ca/news/background/energy/smartmeters.html>
2. Cochrane, Nate. Auditor-General slams Victorian smart meters [en línea]. Noviembre 2009, [consulta: 24 noviembre 2010].
URL <http://www.itnews.com.au/News/160398,auditor-general-slams-victorian-smart-meters.aspx>
3. Ray, Bill. Forget municipal Wi-Fi, welcome to Zigbee City [en línea]. Octubre 2007, [consulta: 29 noviembre 2010].
URL http://www.theregister.co.uk/2007/10/05/zigbee_city/
4. Espectrometria.com. Espectro electromagnético [en línea]. [consulta: 29 noviembre 2010].
URL http://www.espectrometria.com/espectro_electromagnético
5. ZigBee.es
URL <http://www.zigbee.es/wp/>
6. Duarte, Fabián; Suarez, Sneider. Red de Sensores Inalámbricos ZigBee (IEEE 802.15.4): Protocolos de Encaminamiento, AODV y DSR [en línea]. [consulta: 7 diciembre 2010].
URL <http://es.calameo.com/read/0002008987c7ee9e79e42>
7. Campos Garrido, Gonzalo; Caracterización del consumo en redes ZigBee/802.15.4 [en línea]. Universidad de Málaga, 2009.[consulta 29 noviembre 2010].
URL http://webpersonal.uma.es/~ECASILARI/Docencia/Memorias_Presentacion_es_PFC/49_Memoria_GonzaloCampos.pdf
8. Digi International.
URL www.digi.com
9. Asterion. Las Zonas Fresnel y el alcance de los equipos de radio frecuencia [en línea]. 2008, [consulta: 9 diciembre 2010].
URL <http://asterion.almadark.com/2008/11/30/las-zonas-fresnel-y-el-alcance-de-los-equipos-de-radio-frecuencia/>
10. Medidor A3 [en línea]. [consulta: 10 diciembre 2010].
URL www.promelsa.com.pe/pdf/22102133.pdf

11. Wikimedia Foundation, Inc. Personal area network [en línea]. Noviembre 2010, [consulta: 12 diciembre 2010].
URL http://en.wikipedia.org/wiki/Personal_area_network
12. Wikimedia Foundation, Inc. ZigBee (especificación) [en línea]. Octubre 2010, [consulta: 12 diciembre 2010].
URL http://es.wikipedia.org/wiki/ZigBee_%28especificaci%C3%B3n%29
13. Anexo I. Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4) [en línea]. [consulta: 12 diciembre 2010].
URL rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/1/InformeTecZB.pdf
14. ZigBee Alliance Web Site
URL <http://www.zigbee.org>
15. IEEE 802.15 Web Site
URL <http://www.ieee802.org/15>
16. Digi International Inc. XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules. Agosto 2009.
17. Olimex. PIC-WEB REV.B development board, Users Manual Mayo 2009.
18. Microchip. PIC18F46J11 Family Data Sheet. 2009.
19. Linear Technology. LTC1480: Ultra-Low Power RS485 Transceiver.
20. Sacco, Mario. RS485: Domótica al alcance de tu mano [en línea]. 2009, [consulta: diciembre 2009].
URL <http://www.neoteo.com/rs485-domotica-al-alcance-de-tu-mano-15810.neo>
21. Wiesemann & Theis GmbH. Sistemas de bus RS485 [en línea]. [consulta: diciembre 2009].
URL <http://www.wut.de/e-6www-11-apes-000.php>
22. Elster. Metercat User Guide. Estados Unidos, Febrero 2009.

A. Apéndice

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

AMI: Advanced Metering Infrastructure o Infraestructura de Medición Avanzada, se refiere a los sistemas que miden, recolectan y analizan el uso de la energía, e interactúan con dispositivos como los medidores inteligentes.

AMR: Automatic meter Reading o lectura automática de medidores, se refiere a la tecnología de recolección automática de los datos de medidores que luego son transferidos a una base de datos central para la facturación.

Ancho de banda: es la cantidad de información o de datos que se puede enviar a través de una conexión de red en un período de tiempo dado.

AODV: Ad-hoc On Demand Distance Vector, es un protocolo de enrutamiento para redes inalámbricas.

API: Application Programming Interface, interfaz serial de programación, es una interfaz serial de programa de aplicación del XBee.

ARP: Address Resolution Protocol o protocolo de resolución de direcciones, es un protocolo de nivel de red responsable de encontrar la dirección hardware (Ethernet MAC) que corresponde a una determinada dirección IP.

ASCII: American Standard Code for Information Interchange o Código Estadounidense Estándar para el Intercambio de Información es un código de caracteres basado en el alfabeto latino.

AT: interfaz de programación en modo transparente, es una interfaz serial de programa de aplicación del XBee.

Bandas de frecuencia: son intervalos de frecuencias del espectro electromagnético asignados a diferentes usos dentro de las radiocomunicaciones.

Banda estrecha: es un tipo de conexión que utiliza un ancho de banda muy reducido

BPSK: Binary Phase-Shift Keying o modulación por desplazamiento de fase binaria, es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre 2 símbolos

Broadcast: o difusión en español, es un modo de transmisión de información donde un nodo emisor envía información a una multitud de nodos receptores de manera simultánea

Calidad de la energía: se emplea para describir la variación de la tensión, corriente, y frecuencia en el sistema eléctrico.

CSMA/CA: Carrier sense multiple access with collision avoidance o acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones, es un protocolo de control de redes de bajo nivel que permite que múltiples estaciones utilicen un mismo medio de transmisión.

Curva de carga: Es la representación grafica de la forma en que el consumidor, en un determinado intervalo de tiempo, hace uso de sus equipos eléctricos.

Densidad de potencia espectral: es el nivel de potencia de una señal en cualquier frecuencia dada.

DB-9: es un conector de 9 pines colocados en dos o filas paralelas, por lo general rodeados por un escudo metálico en forma de "D".

Diagrama fasorial: es la representación visual de una ecuación.

Dirección IP: es una etiqueta numérica que identifica, de manera lógica y jerárquica, a una interfaz de un dispositivo dentro de una red que utilice el protocolo IP, que corresponde al nivel de red del protocolo TCP/IP.

DLL: Data Link Layer o capa de enlace de datos, es la segunda capa del modelo OSI, el cual es responsable de la transferencia fiable de información a través de un circuito de transmisión de datos.

DSSS: direct sequence spread spectrum o espectro ensanchado por secuencia directa, es uno de los métodos de modulación en espectro ensanchado para transmisión de señales digitales sobre ondas radiofónicas.

Espectro ensanchado: es una técnica de modulación empleada en telecomunicaciones para la transmisión de datos digitales y por radiofrecuencia.

Ethernet: es un estándar de redes de computadoras de área local.

EEPROM: Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory o ROM programable y borrable eléctricamente, es un tipo de memoria ROM que puede ser programado, borrado y reprogramado eléctricamente.

Factor de potencia: es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente de un circuito de corriente alterna,

Full dúplex: se refiere a un sistema que es capaz de mantener una comunicación bidireccional, enviando y recibiendo mensajes de forma simultánea.

Half duplex: significa que el método o protocolo de envío de información es bidireccional pero no simultáneo.

HTTP: Hypertext Transfer Protocol o protocolo de transferencia de hipertexto, es el protocolo usado en cada transacción de la World Wide Web.

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad, es una empresa que brinda servicios de electricidad y telecomunicaciones en Costa Rica.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers o Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

IEEE 802.15.4: estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal, es una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas.

Internet: es un conjunto descentralizado de redes de comunicación interconectadas que utilizan la familia de protocolos TCP/IP, garantizando que las redes físicas heterogéneas que la componen funcionen como una red lógica única, de alcance mundial.

ISM: Industrial, Scientific and Medical, son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica.

LCD: liquid crystal display o pantalla de cristal líquido, es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora.

Línea de vista: es un enlace de radio que debe tener visibilidad directa entre antenas, por lo que no debe haber obstáculo entre ambas.

Longitud de onda: es la distancia que recorre la onda en el intervalo de tiempo transcurrido entre dos máximos consecutivos.

MAC: media access control o control de acceso al medio es el conjunto de mecanismos y protocolos por los que varios dispositivos en una red se ponen de acuerdo para compartir un medio de transmisión común.

Medidor inteligente: es un tipo de medidor avanzado que identifica el consumo en una forma más detallada que los medidores convencionales, y opcionalmente comunica esta información a través de alguna red a un centro de control.

Medidor clase 20: medidor que soporta corrientes nominales de hasta 20 amperios.

Memoria flash: es tecnología de almacenamiento derivada de la memoria EEPROM que permite que múltiples posiciones de memoria sean escritas o borradas en una misma operación de programación mediante impulsos eléctricos.

Memoria RAM: memoria de acceso aleatorio o random-access memory, es la memoria desde donde el procesador recibe las instrucciones y guarda los resultados.

Microcontrolador: es un circuito integrado que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y unidades de E/S (entrada/salida).

Modelo OSI: modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, Open System Interconnection) es el modelo de red descriptivo creado por la Organización Internacional para la Estandarización, es un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.

Modulación: consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que se quiere transmitir.

Onda electromagnética: es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio. y sus aspectos teóricos están relacionados con la solución en forma de onda

O-QPSK: Offset Quadrature Phase Shift Keying o modulación por desplazamiento de fase en offset, es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre 4 símbolos.

PAN: véase WPAN.

PLC: Power line communication o power line carrier, en español, comunicación por línea de alimentación, se refiere a diferentes tecnologías que utilizan las líneas de energía eléctrica convencionales para transmitir señales de radio para propósitos de comunicación.

Portadora: es una forma de onda, generalmente sinusoidal, que es modulada por una señal que se quiere transmitir.

PRN: es un archivo en formato de impresión.

Protocolo: es un conjunto de reglas usadas por computadoras para comunicarse unas con otras a través de una red.

Protocolo abierto: es aquel en el que sus especificaciones (mensajes, handshake, etc..) está disponible de manera pública para que cualquiera desarrolle software para el mismo.

Potencia activa: es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo.

Potencia aparente: es la suma de la energía que disipa dicho circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo y la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes.

Puerto óptico: es un puerto de comunicación que utiliza la luz como medio de transmisión.

PWM: pulse-width modulation o modulación por ancho de pulsos, es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea para

transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

Puerto de red: es una interfaz para comunicarse con un programa a través de una red.

TCP/IP: es la familia de protocolos de Internet, es un conjunto de protocolos de red en los que se basa Internet y que permiten la transmisión de datos entre redes de computadoras. En ocasiones se le denomina conjunto de protocolos TCP/IP, en referencia a los dos protocolos más importantes que la componen: Protocolo de Control de Transmisión (TCP, Transmission Control Protocol) y Protocolo de Internet (IP, Internet Protocol).

Radiofrecuencia: se refiere a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz.

Red inalámbrica: es un término que se utiliza para designar la conexión de nodos sin necesidad de una conexión física (cables), ésta se da por medio de ondas electromagnéticas.

RF: radiofrecuencia.

RJ-45: es una interfaz física comúnmente usada para conectar redes de cableado estructurado, posee ocho conexiones eléctricas, que normalmente se usan como extremos de cables de par trenzado.

RJ-11: es un conector usado mayoritariamente para enlazar redes de telefonía. Es de medidas reducidas y tiene cuatro contactos como para soportar 4 vías de 2 cables.

RS-232: es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un equipo terminal de datos y un equipo de comunicación de datos.

RS-485: es un estándar de comunicaciones en bus de la capa física del Modelo OSI.

Secuencia pseudoaleatoria: es una secuencia de números aleatorios que se repite en el tiempo.

Servidor web: es un programa que está diseñado para transferir hipertextos, páginas web o páginas HTML (HyperText Markup Language): textos complejos con enlaces, figuras, formularios, botones y objetos incrustados.

Throughput: Es la cantidad de información que fluye a través de un sistema.

Topología en malla: es una topología de red en la que cada nodo está conectado a todos los nodos, de esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos.

Transceptor: es un dispositivo que realiza, dentro de una misma caja o chasis, funciones tanto de transmisión como de recepción, utilizando componentes de circuito comunes para ambas funciones.

UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter o Transmisor-Receptor Asíncrono Universal, es el que controla los puertos y dispositivos serie, se encuentra integrado en la placa base o en la tarjeta adaptadora del dispositivo.

WPAN: Wireless Personal Area Networks o Red Inalámbrica de Área Personal es una red de computadoras para la comunicación entre distintos dispositivos cercanos al punto de acceso.

XBee: son módulos de transmisión programados con firmware ZigBee.

ZigBee: es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal.

Zona de Fresnel: es el volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética, acústica, etc, y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°.

A.2 Manual de usuario

A.2.1 Configuración del concentrador

A.2.1.2 Configuración del coordinador

Para configurar el concentrador, lo primero que se debe hacer es configurar al XBee como el coordinador de la red con interfaz serial en modo API, para realizar esta acción se debe conectar el XBee a un CPU a través de un puerto serial RS-232 utilizando el dispositivo XBee explorer serial, como se muestra en la figura A.1.

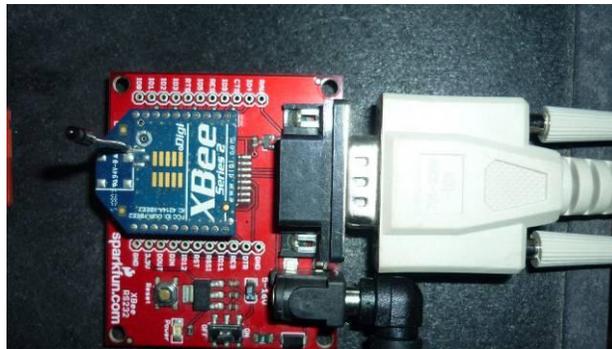


Figura A.1 Conexión del XBee utilizando el XBee explorer serial

Utilizando el software X-CTU, se programa el XBee como se requiere, la figura A.2 muestra la ventana de configuración, donde se escoge el dispositivo XB24-ZB (dispositivo ZigBee), y el set de funciones para el coordinador ZigBee en modo API (ZigBee Coordinator API), la versión se escoge la más reciente (el número mayor).

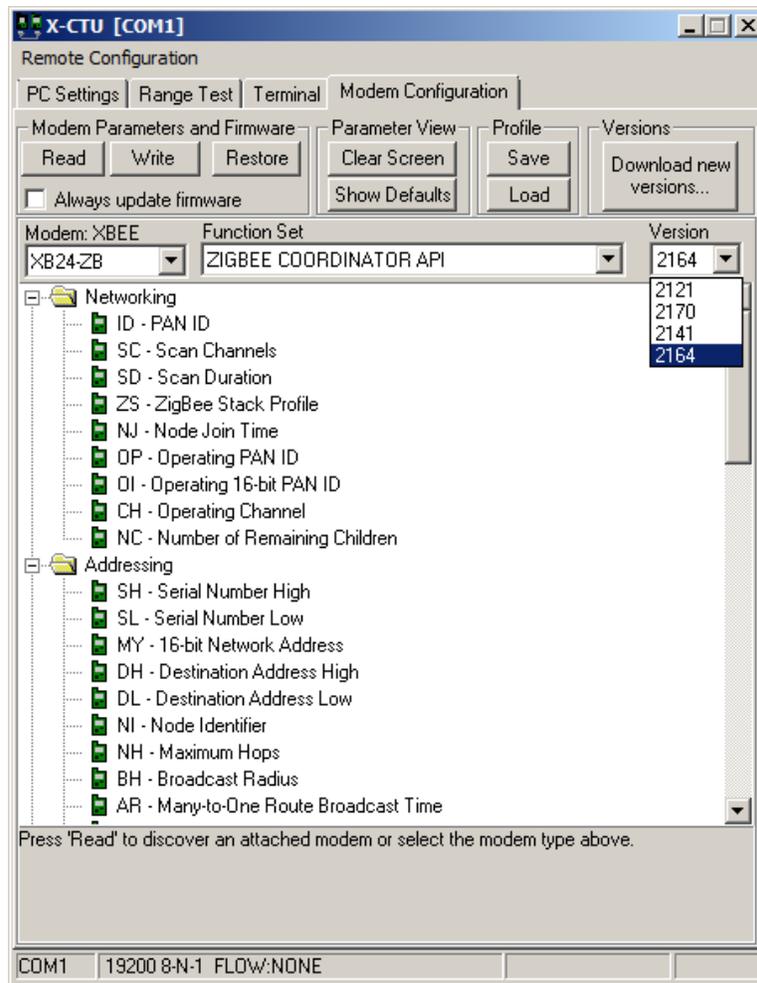


Figura A.2 Configuración del XBee como coordinador ZigBee modo API

De los parámetros por defecto se deben de variar los siguientes:

- Identificador de nodo (NI): se le asigna un nombre para identificarlo del resto más fácilmente, por ejemplo utilizando el nombre “COORDINADOR”.
- Solicitud de ruta (AR): como la red se configura para que el coordinador funcione como concentrador, éste debe enviar un mensaje de solicitud de ruta, en este espacio se pone un número hexadecimal, el cual cuando se multiplica por 10 da el intervalo de tiempo en segundos para enviar los mensajes. Es recomendado que el intervalo sea de 3 a 6 minutos, en la

figura A.3 se escoge un intervalo de 3 minutos (180 segundos), poniendo el valor de 12.

- Tasa de baudios (BD, baud Rate): se pone la opción 4, 19200 bps.

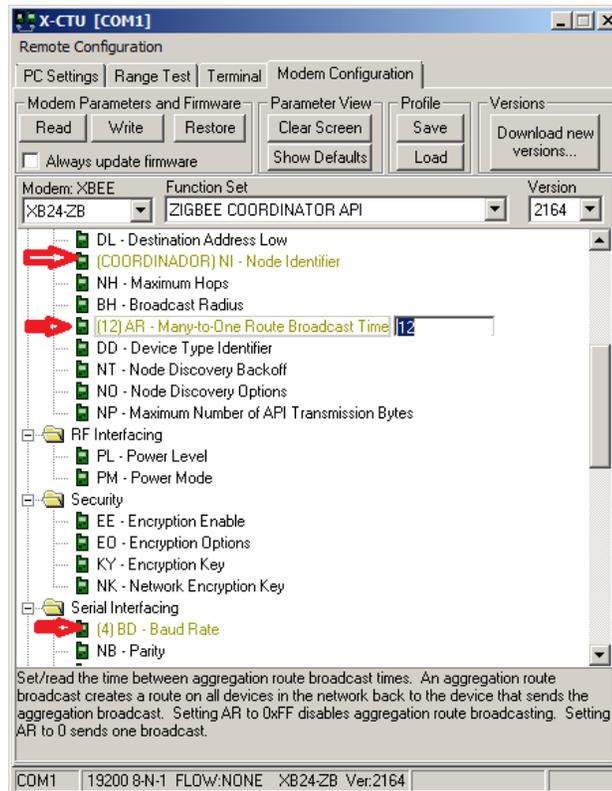


Figura A.3 Cambio de NI, AR, BD

Luego se presiona el botón “Write” y se carga el firmware al XBee.

A.2.1.3 Configuración de la dirección IP

- La dirección IP se puede configurar conectando el PIC-WEB a una computadora a través del puerto serial RS-232.
- Se realiza la conexión entre ambos utilizando una terminal serial, como el hyperterminal o el programa hercules, utilizado en el ejemplo de la figura A.4, la velocidad de la conexión es de 19200 bps.
- Al presionar por 4 segundos los dos botones que posee el PIC-WEB, éste despliega el menú de la figura A.4.

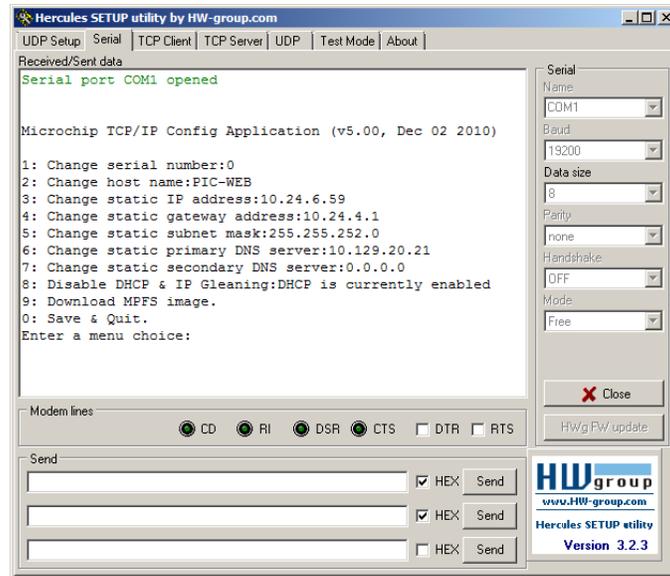


Figura A.4 Menú de configuración del PIC-WEB

Para cambiar la dirección IP se presiona la tecla 3 y se escribe la nueva dirección. Para cambiar la puerta de enlace se presiona la tecla 4 y se introduce la nueva dirección. Al presionar la tecla 5 se puede cambiar la máscara de subred. La figura A.5 muestra los cambios finales a los tres parámetros mencionados.

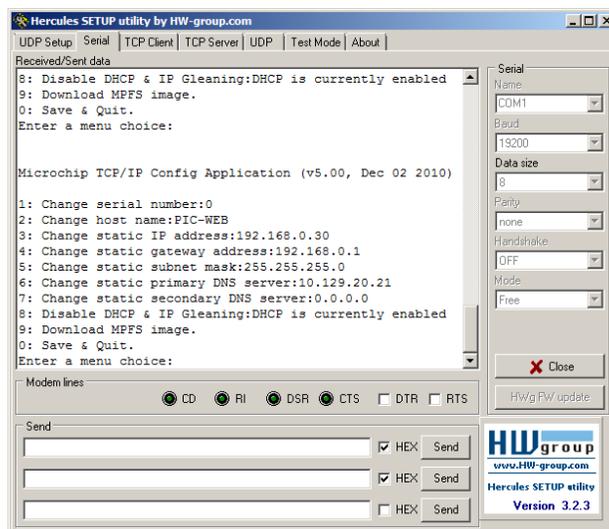


Figura A.5 Cambio de la IP, puerta de enlace y máscara de subred

A.2.1.4 Montaje del circuito

Una vez configurados los dispositivos anteriores, se conectan el PIC-WEB con el circuito concentrado a través de un conector DB-9, como se muestra en la figura A.6.

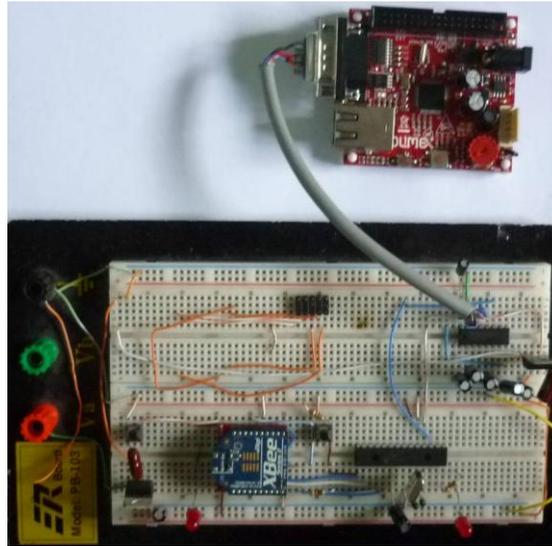


Figura A.6 Conexión del PIC-WEB con circuito concentrador

Posteriormente se conecta el PIC-WEB a la red mediante un cable de red RJ-45 como muestra la figura A.7.



Figura A.7 PIC-WEB conectado a la red mediante un RJ-45

El circuito se conecta a una fuente de alimentación que provea de 5V a 12V y una corriente de al menos 300 mA.

A.2.2 Configuración de los nodos

A.2.2.1 Configuración del router

Los nodos necesitan que el dispositivo XBee esté configurado como un router en modo API, la figura A.8 muestra el firmware de Router ZigBee en modo API (ZigBee Router API).

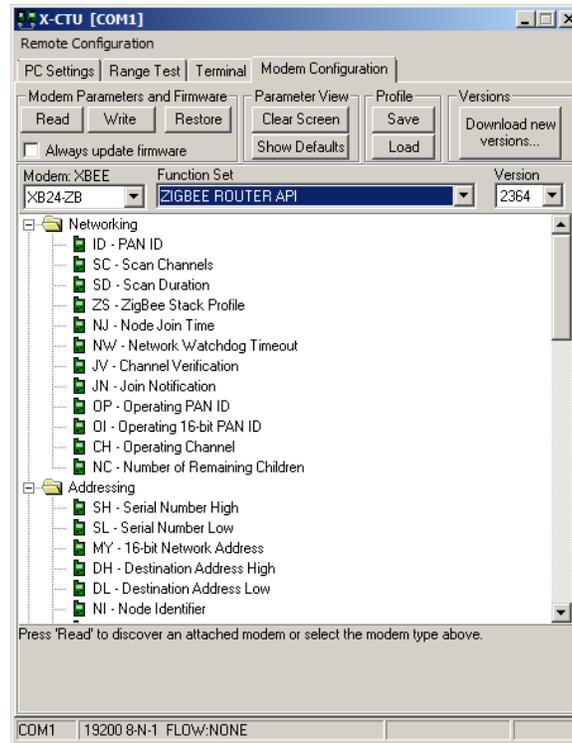


Figura A.8 Configuración del XBee como router ZigBee modo API

De los parámetros por defecto solo se debe cambiar la tasa de baudios (BD, baud Rate), el cual se pone con la opción 4, 19200 bps, puesto que el NI que es otro parámetro que cambia, se hace con el circuito instalado y utilizando un circuito programador de nodos, porque generalmente hasta la instalación final se sabe cual medidor fue asignado a ese nodo en específico.

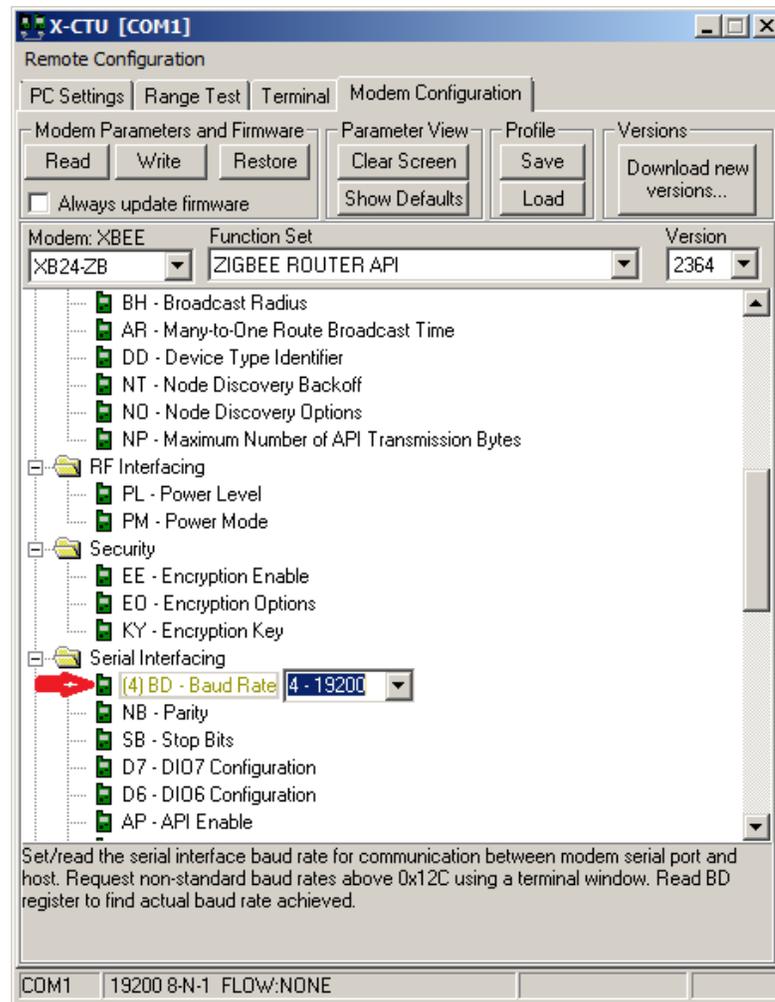


Figura A.9 Cambio de BD

Luego se presiona el botón “Write” y se carga el firmware al XBee.

A.2.2.2 Montaje del circuito

Al instalar el circuito se debe conectar el cable del puerto RS-485 del medidor (ver figura A.10), al conector RJ-11 hembra del circuito nodo, como se observa en la figura A.11.



Figura A.10 Cable de conexión al puerto RS-485 del medidor Alpha A3.



Figura A.11 Conexión del medidor al circuito nodo.

El circuito se conecta a una fuente de alimentación que provea de 5V a 12V y una corriente de al menos 100 mA.

A.2.2.2 Programación del nodo

Una vez conectado el medidor al circuito se procede a programar el identificador del nodo, se utiliza el mismo número identificador ICE que tiene el medidor. La figura A.12 muestra el identificador ICE de un medidor Alpha A3.



Figura A.12 Número de identificación ICE de un medidor Alpha A3

Se conecta el programador de nodos al circuito nodo como se muestra en la figura A.13.



Figura A.13 Conexión del programador de nodos a un nodo

Después se presiona la tecla enter para iniciar el proceso. Primero, aparece el mensaje “Introduzca el ID del medidor”, como muestra la figura A.14.



Figura A.14 Mensaje inicial

Segundo, se pone en blanco la línea de arriba, donde se muestra el número introducido, debajo aparece el mensaje “Enter al final”, aduciendo que se presione el botón enter al introducir el identificador, ver figura A.15.

El identificado que se introduce debe de ser de 9 dígitos, así que si el identificador del medidor es de menos dígitos, se debe rellenar el que se introduce con ceros al principio. La rutina de introducción del identificador finaliza hasta que se haya introducido un número de identificación válido (9 dígitos, números del 0 al 9), el botón enter no responderá hasta que se tengan 9 dígitos introducidos



Figura A.15 Programando el identificador del nodo

En el transcurso del proceso, se pueden hacer las siguientes acciones:

- Borrar el último dígito introducido con la tecla “↑”(retroceder).
- Borrar todo el número introducido hasta el momento con la tecla “clear”.
- Salir de la rutina con la tecla “help”(salir). El sistema antes de salir verifica si el nodo tenía programado un identificador válido, si no, da un mensaje de error y vuelve a iniciar el proceso.

Cuando se introduce el identificador válido y se presiona “enter”, o se sale de la rutina con “help”(salir), y se verifica que hay un identificador válido, se muestra un mensaje con el identificador del nodo, como se muestra en la figura A.16.



Figura A.16 Nodo programado con el identificador 001101014

Luego se desconecta el programador de nodos, y el nodo se encuentra listo para funcionar.

A.2.3 Página web

Desde la página web alojada en el servidor, se puede obtener información de la red y administrarla también. La figura A.17 muestra la ventana principal de la página web.

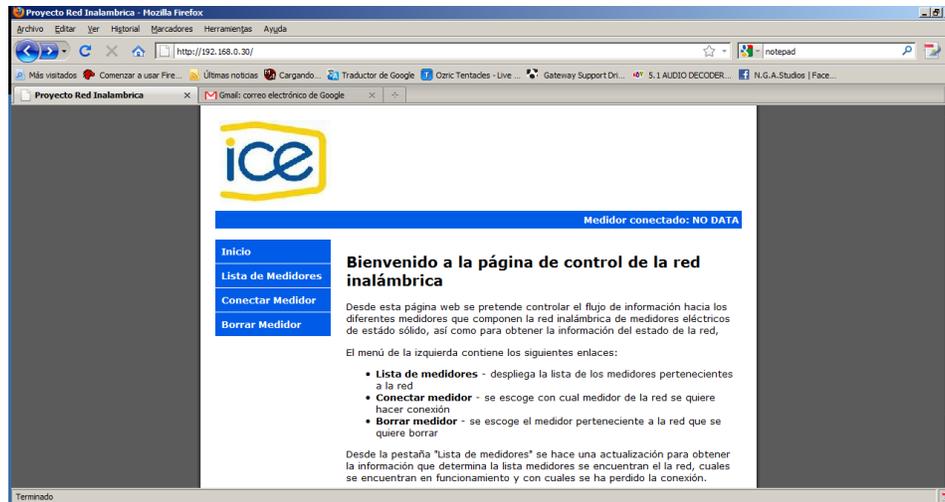


Figura A.17 Ventana principal de la página web

La página web presenta a la izquierda un menú en el que se presentan las siguientes opciones:

- Inicio: se devuelve a la página de inicio.
- Lista de medidores: despliega la lista de los medidores pertenecientes a la red.
- Conectar medidor: se escoge con cual medidor de la red se quiere hacer conexión por interrogarlo.
- Borrar medidor: se escoge el medidor perteneciente a la red que se quiere borrar de la lista.

Al escoger la opción “Lista de medidores”, se muestra en pantalla la lista de los medidores pertenecientes a la red, también se muestra si estos medidores presentan actividad o si se ha perdido conexión con alguno. La figura A.18 muestra una lista de 4 medidores donde se ha perdido comunicación con dos de ellos.

Diseño de una red de comunicación inalámbrica de medidores eléctricos de estado sólido utilizando el conjunto de protocolos ZigBee

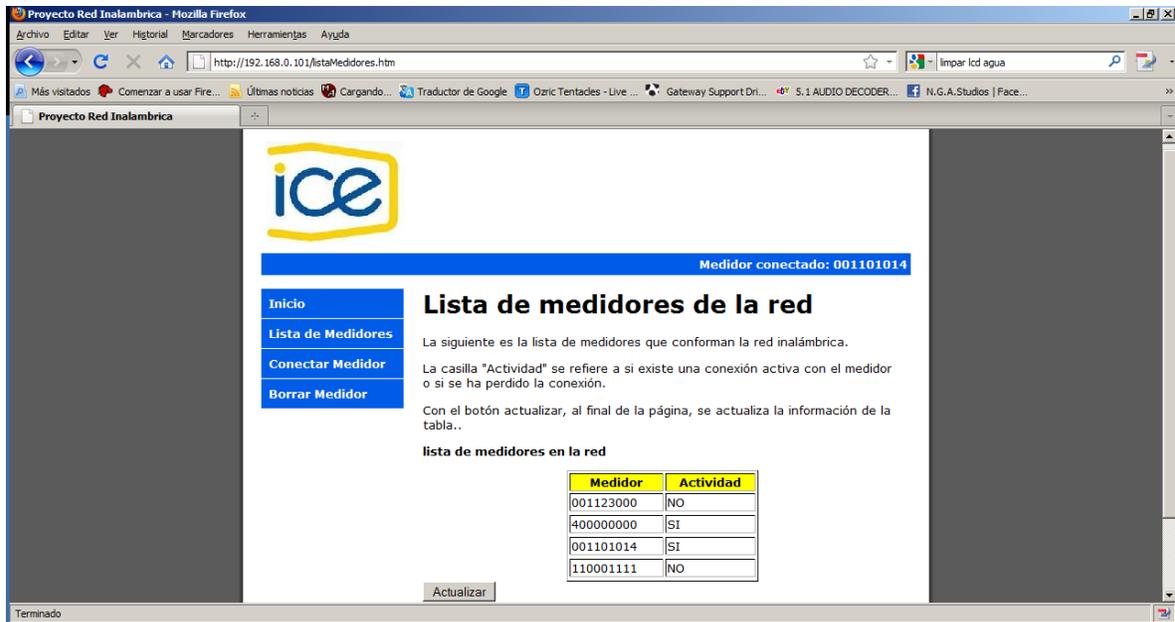


Figura A.18 Lista de medidores en la red

En caso de que los dispositivos sigan sin conexión mucho tiempo después se puede considerar el hacer una inspección al lugar para ver qué tipo de problema existe por el que se ha perdido conexión con ellos.

La adición de un medidor a la lista se hace de manera automática, una vez que el circuito nodo esté instalado, configurado y conectado a una fuente de alimentación, el dispositivo es agregado a la red en el momento que responda a un mensaje de solicitud de ruta enviado por el concentrador.

Por otro lado, para quitar un medidor de la lista por haberse desinstalado por ejemplo, se debe hacer entrando a la opción "Borrar medidor", ahí, aparece una lista desplegable donde aparecen todos los medidores de la lista principal, al escoger uno y presionar el botón "Borrar", el medidor es removido de la lista, como se muestra en las figuras A.19 y A.20.

Diseño de una red de comunicación inalámbrica de medidores eléctricos de estado sólido utilizando el conjunto de protocolos ZigBee

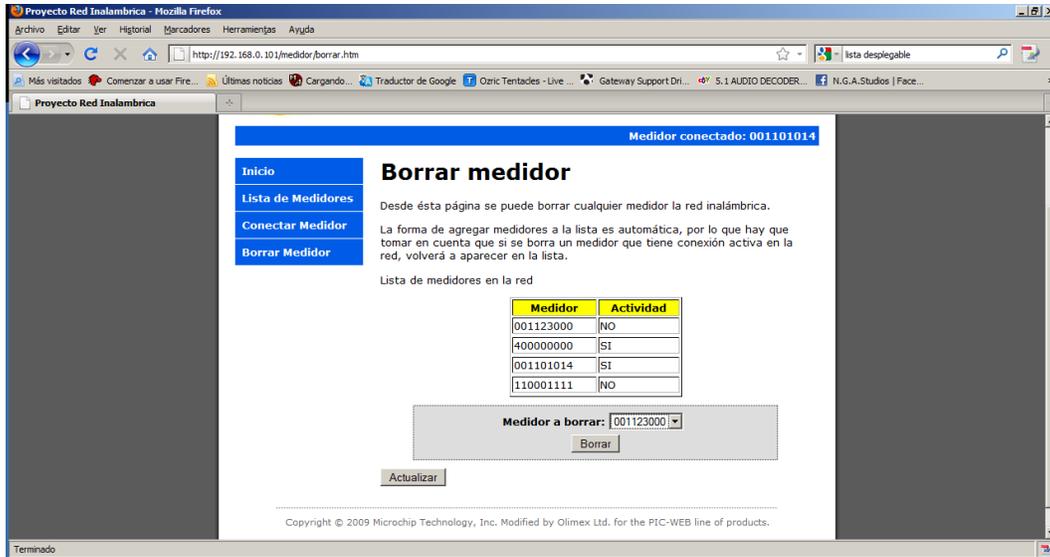


Figura A.19 Medidor a borrar

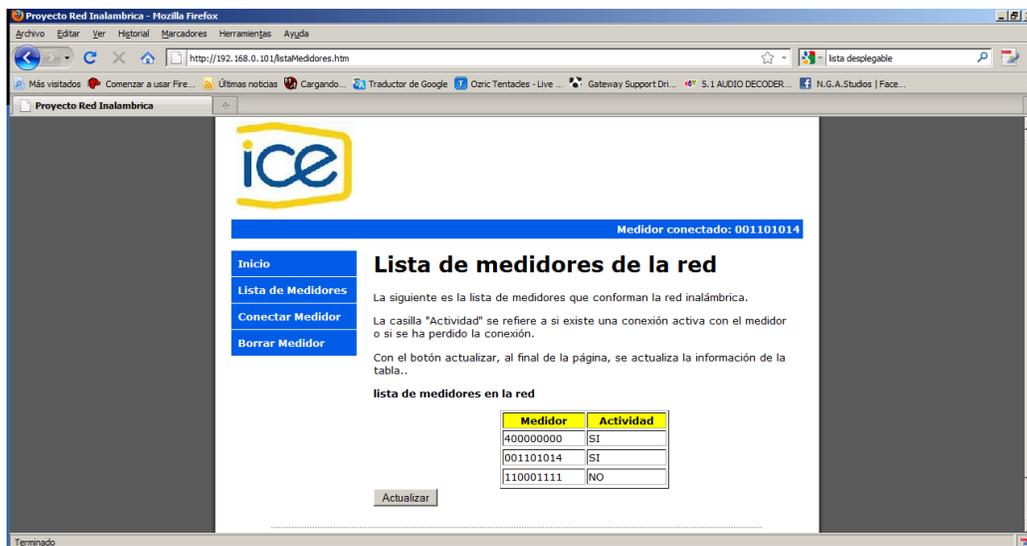


Figura A.20 Medidor borrado

Para escoger el medidor que se quiere interrogar, se utiliza la opción “Conectar medidor”, la cual muestra una lista desplegable con los medidores activos de la red, puesto que un medidor que no presente conexión no podrá ser interrogado. La figura A.21 muestra la ventana para escoger al medidor.

Diseño de una red de comunicación inalámbrica de medidores eléctricos de estado sólido utilizando el conjunto de protocolos ZigBee



Figura A.21 Escoger el medidor a interrogar

Una vez escogido, se presiona el botón “conectar” y el sistema se encuentra listo para transmitir datos hacia ese medidor, como lo muestra la figura A.22. La página web muestra en todo momento el medidor al que se puede interrogar en ese momento, el identificador se observa en la parte derecha de la línea azul que se encuentra debajo del logo del ICE.



Figura A.22 Medidor conectado: 40000000

A.2.4 Lectura del medidor

La lectura del medidor se realiza mediante un programa de aplicación para interrogar medidores Alpha A3, tal es el caso del programa Metercat, los pasos para realizar la conexión con el medidor son los siguientes.

Desde la página principal del Metercat, mostrada en la figura A.23, se va a la pestaña “Tools” y luego a “Machine settings” para configurar una nueva conexión por TCP/IP.

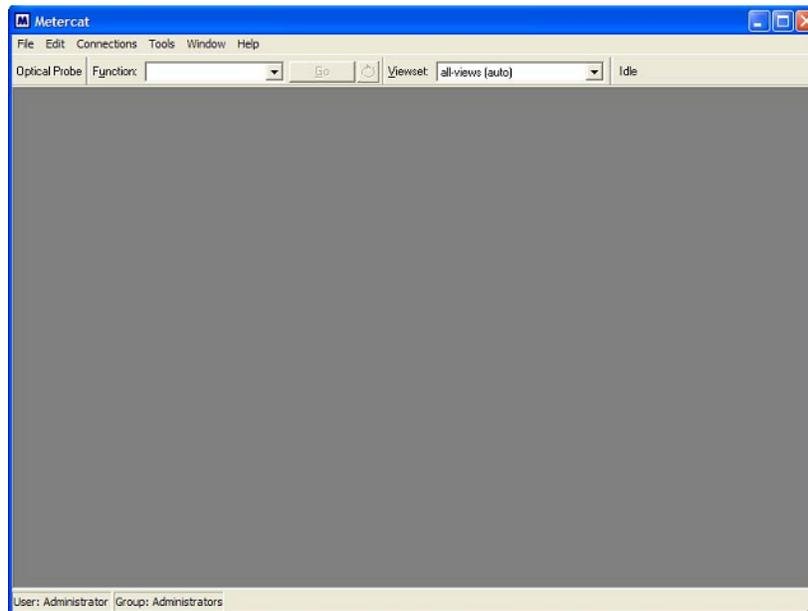


Figura A.23 Ventana principal del Metercat

La figura A.24 muestra la ventana de dialogo para crear una nueva conexión TCP/IP (Ethernet). Desde ahí se puede escoger el tamaño de los paquetes y los reintentos de respuesta, para el sistema desarrollado se recomienda enviar paquetes de 512 bytes, con al menos 5 reintentos de respuesta.

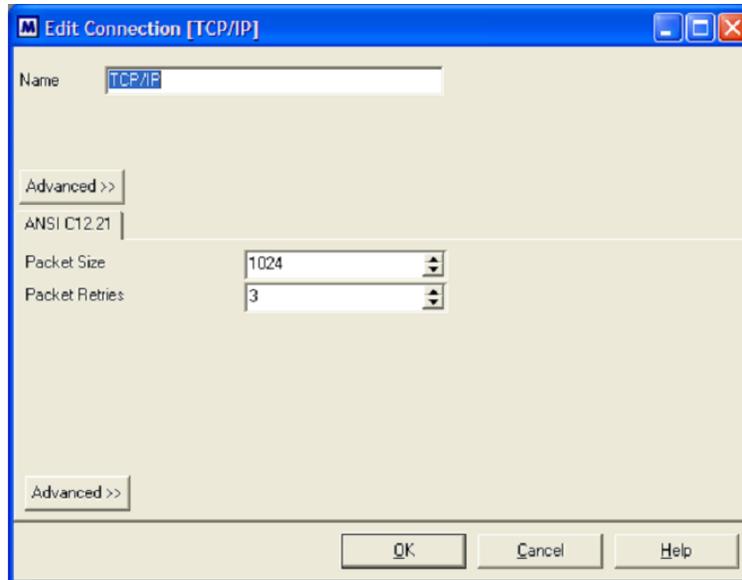


Figura A.24 Creando una conexión TCP/IP

Para hacer la conexión con el medidor, se presiona sobre la pestaña “connections” y desde ahí se escoge una conexión TCP/IP, luego aparece la ventana de la figura A.25, donde se escoge la dirección IP al presiona el botón “Address”, la que abre la ventana de la figura A.26.

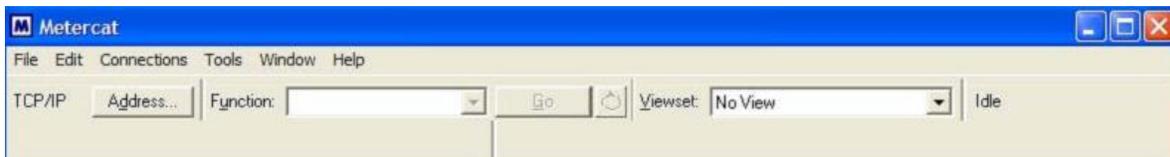


Figura A.25 Escogiendo una conexión TCP/IP

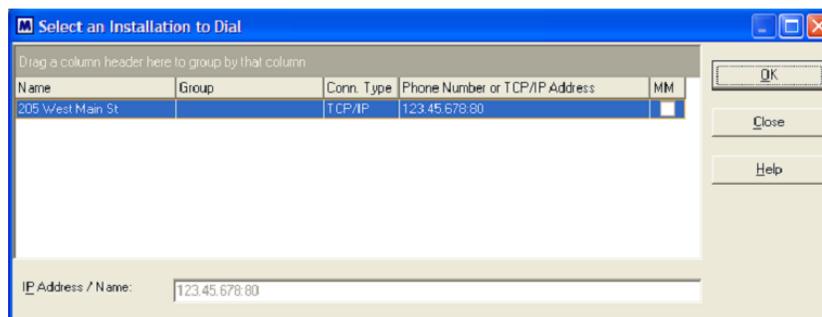


Figura A.26 Seleccionando la dirección IP de la conexión TCP/IP

Desde esta página se escoge la dirección IP del “servidor web” de la red inalámbrica, y el puerto 9761 para realizar la conexión.

Una vez escogido el canal de comunicación se comienza con la lectura del medidor. La figura A.27 muestra la ventana que se abre cuando el Metercat entabla comunicación e identifica un medidor Alpha A3.

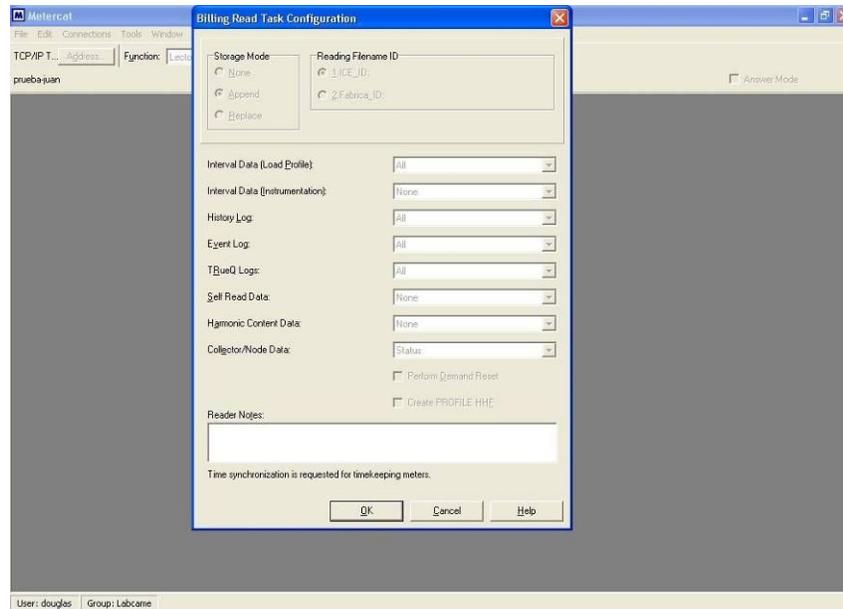


Figura A.27 El Metercat identifica un medidor Alpha A3 y se encuentra listo para comenzar la lectura

Cuando se presiona el botón “ok”, inicia la lectura del medidor. En la figura A.28 se observa el momento en que el Metercat interroga al medidor.

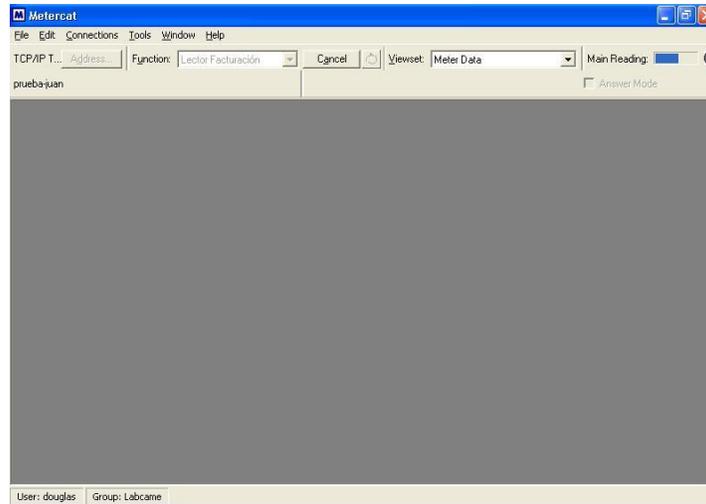


Figura A.28 El Metercat interroga al medidor

La figura A.29 muestra la ventana que indica que finaliza la lectura satisfactoria del medidor.

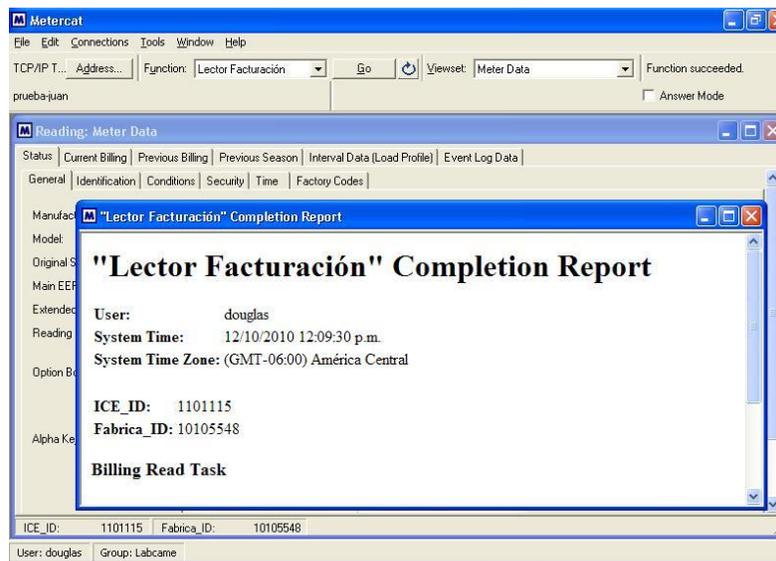


Figura A.29 Finaliza satisfactoriamente la lectura del medidor

Este manual finaliza con la lectura satisfactoria del medidor a través del Metercat. Para obtener información de cómo generar el archivo PRN y el reporte de facturación, ver el manual del Metercat, y el manual de procedimiento para realización del reporte de facturación del Laboratorio de medidores.

A.3 Información sobre el Instituto Costarricense de Electricidad

A.3.1 Descripción de la empresa

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) es una institución del estado encargada de la generación y distribución de energía eléctrica en el país además de ofrecer servicios de telecomunicaciones en todo el territorio nacional.

El ICE se divide en dos sectores, electricidad y telecomunicaciones, cada uno de estos sectores ha sido dividido en departamentos conocidos como UEN (Unidad Estratégica de Negocio). En el sector de electricidad se encuentra la UEN Servicio al Cliente, encargada de brindar el servicio eléctrico a sus clientes finales.

Entre las actividades que efectúa la UEN Servicio al Cliente figuran el suministro de energía eléctrica, lectura de medidores, cálculo por concepto de servicios eléctricos y la entrega de la facturación eléctrica.

A.3.2 Descripción del Laboratorio de medidores

La UEN Servicio al Cliente cuenta con la dependencia llamada Área de Medición y Seguridad la cual coordina los procesos de medición y seguridad a nivel nacional, cuenta con el Laboratorio de Medidores en Colima de Tibás, donde se realiza el mantenimiento y calibración de los medidores eléctricos pertenecientes al ICE, y donde se realizará este proyecto. Además, la dependencia se encarga de la lectura y facturación de grandes clientes y generadores de energía eléctrica, también se tienen a cargo los sistemas de lectura remota (AMR), con los que obtienen los datos que guarda el medidor (potencia activa y potencia aparente), desde el laboratorio, sin tener que desplazarse hasta donde se encuentra instalado el mismo.

B. Anexos

B.1 Hoja de datos del XBee

1. Overview

This manual describes the operation of the XBee/XBee-PRO ZB RF module, which consists of ZigBee firmware loaded onto XBee S2 hardware, models: XBEE2 and XBEEPRO2. The XBee/XBee-PRO ZB RF Modules are designed 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.



The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are compatible with the following:

- XBee RS-232 Adapter
- XBee RS-485 Adapter
- XBee Analog I/O Adapter
- XBee Digital I/O Adapter
- XBee Sensor
- XBee USB Adapter
- XStick
- ConnectPort X Gateways
- XBee Wall Router.

The XBee/XBee-PRO ZB firmware release can be installed on XBee ZNet or ZB modules. The XBee ZB firmware is based on the EmberZNet 3.x ZigBee PRO Feature Set mesh networking stack, while the XBee ZNet 2.5 firmware is based on Ember's proprietary "designed for ZigBee" mesh stack (EmberZNet 2.5.x). ZB and ZNet 2.5 firmware are similar in nature, but not over-the-air compatible. Devices running ZNet 2.5 firmware cannot talk to devices running the ZB firmware.

What's New in 2x6x

Firmware

XBee/XBee-PRO ZB firmware includes the following new features (compared with 2x4x):

- IO sampling is now supported on all targets (IS, IR, IC commands). See chapter 8.
- Router can be set as an end device by setting SM command to 1 or 4 See SM command in chapter 10.
- Adaptive polling enhancement allows end devices to receive large transmissions faster. See Receiving RF Data in chapter 6.
- The remote command response, transmit, and receive API frames have new options. See chapter 9.
- Network watchdog feature allows routers to detect over time if the network has changed channel. See Router Network Connectivity section in chapter 3.
- API targets can send fragmented messages. See Fragmentation section in chapter 4.
- Resolved some issues when RTS flow control is being used.

See the 2x6x release notes for a complete list of new features and bug fixes at www.digi.com/support.

Manual

The XBee/XBee-PRO ZB 2x6x manual includes the following corrections over the 2x4x manual:

- Corrected the maximum transmission timeout calculations and examples when sending data to an end device. See Transmission Timeouts section in chapter 4.
- Improved the description of many-to-one and source routing. See RF Packet Routing section in chapter 4.

- Corrected API example errors in chapter 9.

Key Features

High Performance, Low Cost

XBee

- Indoor/Urban: up to 133' (40 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 400' (120 m)
- Transmit Power: 2 mW (3 dBm)
- Receiver Sensitivity: -96 dBm

XBee-PRO

- Indoor/Urban: up to 300' (90 m), 200' (60 m) for International variant
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1600 m), 2500' (750 m) for International variant
- Transmit Power: 50mW (17dBm), 10mW (10dBm) for International variant
- Receiver Sensitivity: -102 dBm

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 Peak Current: 40 mA (@3.3 V)
- RX Current: 40 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 1 uA

XBee-PRO

- TX Peak Current: 295mA (170mA for international variant)
- RX Current: 45 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 uA

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

Worldwide Acceptance

FCC Approval (USA) Refer to Appendix A for FCC Requirements.
Systems that contain XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules inherit Digi Certifications.
ISM (Industrial, Scientific & Medical) 2.4 GHz frequency band
Manufactured under ISO 9001:2000 registered standards
XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules are optimized for use in US, Canada, Europe, Australia, and Japan (contact Digi for complete list of agency approvals).



Specifications

Specifications of the XBee®/XBee-PRO® ZB RF Module

Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	up to 133 ft. (40 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) international variant
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 400 ft. (120 m)	Up to 1 mile (1600 m), up to 2500 ft (750 m) international variant
Transmit Power Output	2mW (+3dBm), boost mode enabled 1.25mW (+1dBm), boost mode disabled	50mW (+17 dBm) 10mW (+10 dBm) for International variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Data Throughput	up to 35000 bps (see chapter 4)	up to 35000 bps (see chapter 4)
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 1 Mbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 1 Mbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-96 dBm, boost mode enabled -95 dBm, boost mode disabled	-102 dBm
Power Requirements		
Supply Voltage	2.1 - 3.6 V	3.0 - 3.4 V
Operating Current (Transmit, max output power)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 35mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	295mA (@3.3 V), 170mA (@3.3 V) international variant
Operating Current (Receive)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 38mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	45 mA (@3.3 V)
Idle Current (Receiver off)	15mA	15mA
Power-down Current	< 1 uA @ 25°C	< 10 uA @ 25°C
General		
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, RPSMA, or U.FL Connector	Integrated Whip, Chip, RPSMA, or U.FL Connector
Networking & Security		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh
Number of Channels	16 Direct Sequence Channels	14 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)
Agency Approvals		
United States (FCC Part 15.247)	FCC ID: OUR-XBEE2	FCC ID: MCQ-XBEEPRO2
Industry Canada (IC)	IC: 4214A-XBEE2	IC: 1846A-XBEEPRO2
Europe (CE)	ETSI	ETSI
Australia	C-Tick	C-Tick
Japan	R201WW07215215	R201WW08215142
RoHS	Compliant	Compliant

B.2 Hoja de datos del PIC-WEB



PIC-WEB REV.B development board Users Manual



All boards produced by Olimex are ROHS compliant

Rev.B, May 2009

Copyright(c) 2010, OLIMEX Ltd, All rights reserved

Page1

INTRODUCTION

PIC-WEB is compact board with 65x60 mm size which is supported by Microchip's open source TCP-IP stack AN833. The board is designed with 64-pin high-performance, 1 Mbit Flash microcontroller with Ethernet - PIC18F67J60 and supports: SLIP, ARP, IP, ICMP, TCP, UDP, HTTP, DHCP, FTP. The Microchip stack is written very modular and flexible and you can enable or disable modules and supports dynamic web pages which give you the possibility to control all PIC resources remotely via FTP, HTTP, UDP, TCP etc. With this board you can implement web and ftp server, send e-mails and almost everything what the big servers do. The on board 1Mbit serial flash is available for data storage.

This board is designed to have Web page of no more than 128 kB. If you want a lot's of images in your application you can also host them on other server visible on the network where you have the PIC-WEB connected. The potential of the board is to generate a fluid communication between some specific sensors or actuators across a TCP/IP net including the controls of it.

The Microchip stack is an open source library, which is possible to modify and compile at any time. But you will probably need to modify it to your own needs. The board comes with an implemented WEB server and a web page that let you controls some of the features of the board. In this manual we'll learn about how to compile the TCP/IP stack to use it over the platform, the needed software, how to use the pre loaded web page, and how to upload your own web pages in the board.

This manual requires Microsoft Windows® OS because several software used here is windows compatible only.

BOARD FEATURES

- PIC18F67J60 microcontroller
- 1Mbit on board serial flash for web pages storage
- ICSP/ICD connector for programming and debugging with PIC-ICD2, PIC-ICD2-POCKET and PIC-ICD2-TINY.
- Reset button
- User event button
- Analogue trimmer potentiometer
- Thermistor for temperature monitoring
- RS232 driver and connector
- Complete web server and TCP-IP stack support as per Microchip's open source TCP-IP stack
- Power plug-in jack for +5VDC power supply
- Voltage regulator +3.3V and filtering capacitors
- status LED
- Extension header to connect to other boards
- PCB: FR-4, 1.5 mm (0,062"), solder mask, silkscreen component print
- Dimensions 60x65 mm (2.36x2.55")

PROCESSOR FEATURES

PIC-WEB board use CPU PIC18F67J60 from Microchip with these features:

- Operating Frequency - DC - 41.67 MHz
- Flash program memory (bytes) - 128k
- Flash program memory (Instructions) - 65532
- SRAM data memory (bytes) - 3808
- Interrupt Sources - 26
- Ethernet TX/RX Buffer (bytes) - 8192
- I/O Ports - A, B, C, D, E, F, G
- I/O Pins - 39
- 10-Bit A/D (ch) - 11
- Capture/Compare/PWM Modules - 2
- Enhanced Capture/Compare/PWM Modules - 3
- Serial Communications - MSSP (1), Enhanced USART (1)
- SPI
- Master I²C™
- Comparators - 2
- Timers 8/16-Bit - 2/3
- Resets (and Delays) - POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow, MCLR, WDT (PWRT, OST)
- Instruction Set - 75 Instructions, 83 with Extended Instruction Set Enabled

Ethernet Features:

- IEEE 802.3 compatible Ethernet Controller
- Integrated MAC and 10Base-T PHY
- 8-Kbyte Transmit/Receive Packet Buffer SRAM
- Supports one 10Base-T Port with Automatic Polarity Detection and Correction
- Programmable Automatic Retransmit on Collision
- Programmable Padding and CRC Generation
- Programmable Automatic Rejection of Erroneous Packets
- Activity Outputs for 2 LED Indicators
- Buffer:
 - Configurable transmit/receive buffer size
 - Hardware-managed circular receive FIFO
 - Byte-wide random and sequential access

- Internal DMA for fast memory copying
- Hardware assisted checksum calculation for various protocols
- MAC:
 - Support for Unicast, Multicast and Broadcast packets
 - Programmable Pattern Match of up to 64 bytes within packet at user-defined offset
 - Programmable wake-up on multiple packet formats
- PHY:
 - Wave shaping output filter
 - Loopback mode

Flexible Oscillator Structure:

- Selectable System Clock derived from single 25 MHz external source:
 - 2.78 to 41.67 MHz
- Internal 31 kHz Oscillator
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if oscillator stops
- Two-Speed Oscillator Start-up

Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA on PORTB and PORTC
- Five Timer modules (Timer0 to Timer4)
- Four External Interrupt pins
- Two Capture/Compare/PWM (CCP) modules
- Three Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) modules:
 - One, two or four PWM outputs
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-shutdown and auto-restart
- Up to two Master Synchronous Serial Port (MSSP) modules supporting SPI (all 4 modes) and I2C™ Master and Slave modes
- Up to two Enhanced USART modules:
- Supports RS-485, RS-232 and LIN 1.2
 - Auto-wake-up on Start bit
 - Auto-Baud Detect
- 10-Bit, up to 16-Channel Analog-to-Digital Converter module (A/D):
 - Auto-acquisition capability
 - Conversion available during Sleep

- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

Special Microcontroller Features:

- 5.5V Tolerant Inputs (digital-only pins)
- Low-Power, High-Speed CMOS Flash Technology:
 - Self-reprogrammable under software control
- C compiler Optimized Architecture for re-entrant code
- Power Management Features:
 - Run: CPU on, peripherals on
 - Idle: CPU off, peripherals on
 - Sleep: CPU off, peripherals off
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 4 ms to 134s
- Single-Supply 3.3V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) with 3 Breakpoints via two pins
- Operating Voltage Range of 2.35V to 3.6V (3.14V to 3.45V using Ethernet module)
- On-Chip 2.5V Regulator

B.3 Hoja de datos del PIC18F26J11



MICROCHIP PIC18F46J11 FAMILY

28/44-Pin, Low-Power, High-Performance Microcontrollers

Power Management Features with nanoWatt XLP™ for Extreme Low Power:

- Deep Sleep mode: CPU off, Peripherals off, Currents Down to 13 nA and 850 nA with RTCC
 - Able to wake-up on external triggers, programmable WDT or RTCC alarm
 - Ultra Low-Power Wake-up (ULPWU)
- Sleep mode: CPU off, Peripherals off, SRAM on, Fast Wake-up, Currents Down to 105 nA Typical
- Idle: CPU off, Peripherals on, Currents Down to 2.3 μ A Typical
- Run: CPU on, Peripherals on, Currents Down to 6.2 μ A Typical
- Timer1 Oscillator/w RTCC: 1 μ A, 32 kHz Typical
- Watchdog Timer: 2.2 μ A, 2V Typical

Special Microcontroller Features:

- 5.5V Tolerant Inputs (digital only pins)
- Low-Power, High-Speed CMOS Flash Technology
- C Compiler Optimized Architecture for Re-Entrant Code
- Priority Levels for Interrupts
- Self-Programmable under Software Control
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 4 ms to 131 s
- Single-Supply In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- In-Circuit Debug (ICD) with Three Breakpoints via Two Pins
- Operating Voltage Range of 2.0V to 3.6V
- On-Chip 2.5V Regulator
- Flash Program Memory of 10,000 Erase/Write Cycles Minimum and 20-Year Data Retention

Peripheral Highlights:

- Peripheral Pin Select:
 - Allows independent I/O mapping of many peripherals
 - Continuous hardware integrity checking and safety interlocks prevent unintentional configuration changes
- Hardware Real-Time Clock and Calendar (RTCC):
 - Provides clock, calendar and alarm functions
- High-Current Sink/Source 25 mA/25 mA (PORTB and PORTC)

Peripheral Highlights (Continued):

- Four Programmable External Interrupts
- Four Input Change Interrupts
- Two Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) modules:
 - One, two or four PWM outputs
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-shutdown and auto-restart
 - Pulse steering control
- Two Master Synchronous Serial Port (MSSP) modules featuring:
 - 3-wire SPI (all 4 modes)
 - 1024-byte SPI Direct Memory Access (DMA) channel
 - I²C™ Master and Slave modes
- 8-Bit Parallel Master Port/Enhanced Parallel Slave Port
- Two-Rail – Rail Analog Comparators with Input Multiplexing
- 10-Bit, up to 13-Channel Analog-to-Digital (A/D) Converter module:
 - Auto-acquisition capability
 - Conversion available during Sleep
 - Self-Calibration
- High/Low-Voltage Detect module
- Charge Time Measurement Unit (CTMU):
 - Supports capacitive touch sensing for touch screens and capacitive switches
 - Provides a Precise Resolution Time Measurement for Both Flow Measurement and Simple Temperature Sensing
- Two Enhanced USART modules:
 - Supports RS-485, RS-232 and LIN/J2602
 - Auto-wake-up on Start bit
- Auto-Baud Detect

Flexible Oscillator Structure:

- 1% Accurate High-Precision Internal Oscillator
- Two External Clock modes, up to 48 MHz (12 MIPS)
- Internal 31 kHz Oscillator, Internal Oscillators Tunable at 31 kHz and 8 MHz or 48 MHz with PLL
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if any clock stops
- Two-Speed Oscillator Start-up
- Programmable Reference Clock Output Generator

PIC18F46J11 FAMILY

PIC18F/LF ⁽¹⁾ Device	Pins	Program Memory (bytes)	SRAM (bytes)	Remappable Pins	Timers &16-Bit	ECCP/(PWM)	EUSART	MSSP		10-Bit A/D (ch)	Comparators	Deep Sleep	PMP/PSP	CTMU	RTCC	
								SPI w/DMA	I ² C™							
PIC18F24J11	28	16K	3776	16	2/3	2	2	2	Y	Y	10	2	Y	N	Y	Y
PIC18F25J11	28	32K	3776	16	2/3	2	2	2	Y	Y	10	2	Y	N	Y	Y
PIC18F26J11	28	64K	3776	16	2/3	2	2	2	Y	Y	10	2	Y	N	Y	Y
PIC18F44J11	44	16K	3776	22	2/3	2	2	2	Y	Y	13	2	Y	Y	Y	Y
PIC18F45J11	44	32K	3776	22	2/3	2	2	2	Y	Y	13	2	Y	Y	Y	Y
PIC18F46J11	44	64K	3776	22	2/3	2	2	2	Y	Y	13	2	Y	Y	Y	Y
PIC18LF24J11	28	16K	3776	16	2/3	2	2	2	Y	Y	10	2	N	N	Y	Y
PIC18LF25J11	28	32K	3776	16	2/3	2	2	2	Y	Y	10	2	N	N	Y	Y
PIC18LF26J11	28	64K	3776	16	2/3	2	2	2	Y	Y	10	2	N	N	Y	Y
PIC18LF44J11	44	16K	3776	22	2/3	2	2	2	Y	Y	13	2	N	Y	Y	Y
PIC18LF45J11	44	32K	3776	22	2/3	2	2	2	Y	Y	13	2	N	Y	Y	Y
PIC18LF46J11	44	64K	3776	22	2/3	2	2	2	Y	Y	13	2	N	Y	Y	Y

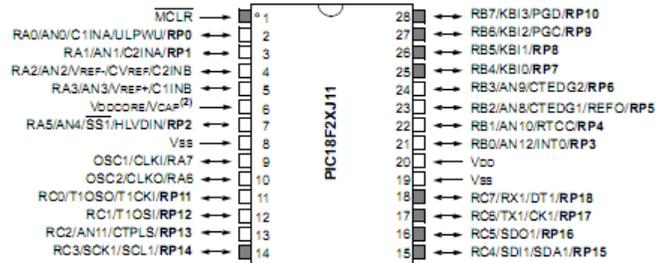
Note 1: See Section 1.3 "Details on Individual Family Devices", Section 3.6 "Deep Sleep Mode" and Section 25.3 "On-Chip Voltage Regulator" for details describing the functional differences between PIC18F and PIC18LF variants in this device family.

PIC18F46J11 FAMILY

Pin Diagrams

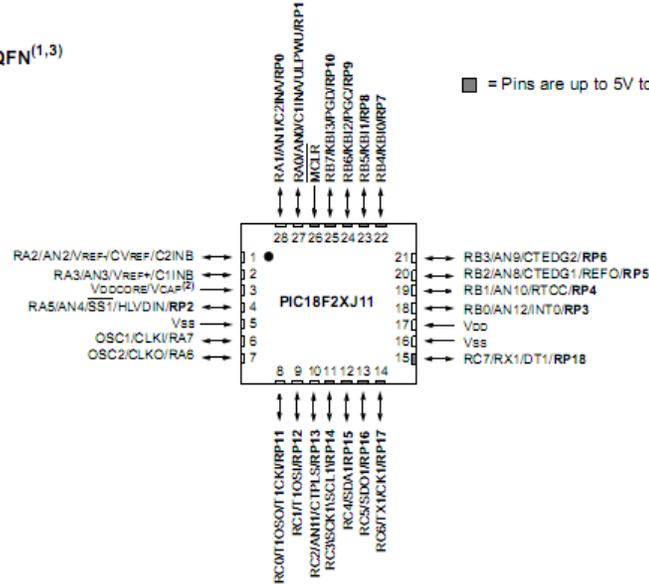
28-Pin SPDIP/SOIC/SSOP⁽¹⁾

■ = Pins are up to 5V tolerant



28-Pin QFN^(1,3)

■ = Pins are up to 5V tolerant



Legend: RPn represents remappable pins.

Note 1: Some input and output functions are routed through the Peripheral Pin Select (PPS) module and can be dynamically assigned to any of the RPn pins. For a list of the input and output functions, see Table 9-13 and Table 9-14, respectively. For details on configuring the PPS module, see Section 9.7 "Peripheral Pin Select (PPS)".

2: See Section 25.3 "On-Chip Voltage Regulator" for details on how to connect the VDDCORE/VCAP pin.

3: For the QFN package, it is recommended that the bottom pad be connected to VSS.

B.4 Hoja de datos del LTC1480



LTC1480

3.3V Ultra-Low Power RS485 Transceiver

FEATURES

- True RS485 from a Single 3.3V Supply
- Low Power: $I_{CC} = 500\mu\text{A}$ Max with Driver Disabled
- $I_{CC} = 600\mu\text{A}$ Max with Driver Enabled, No Load
- $1\mu\text{A}$ Quiescent in Shutdown Mode
- ESD Protection to $\pm 10\text{kV}$ on Receiver Inputs and Driver Outputs
- -7V to 12V Common-Mode Range Permits $\pm 7\text{V}$ Ground Difference Between Devices on the Data Line
- Thermal Shutdown Protection
- Power Up/Down Glitch-Free Driver Outputs Permit Live Insertion or Removal of Transceiver
- Driver Maintains High Impedance in Three-State or with the Power Off
- Up to 32 Transceivers on the Bus
- 50ns Typical Driver Propagation Delays with 10ns Skew
- Pin Compatible with the LTC485

APPLICATIONS

- Battery-Powered RS485/RS422 Applications
- Low Power RS485/RS422 Transceiver
- Level Translator

DESCRIPTION

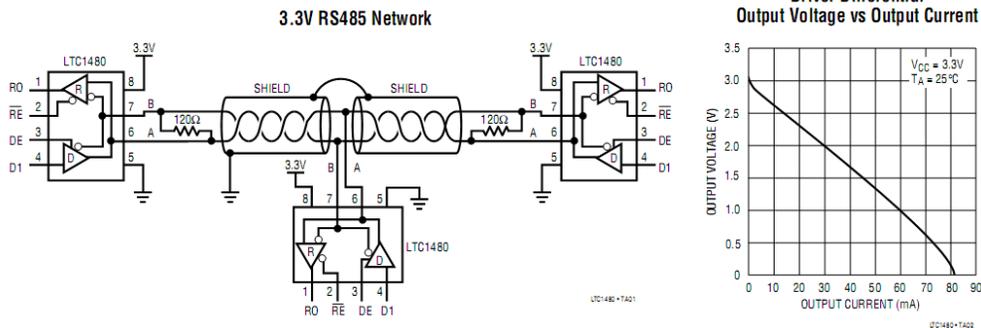
The LTC[®]1480 is an ultra-low power differential line transceiver which provides full RS485 compatibility while operating from a single 3.3V supply. It is designed for data transmission standard RS485 applications with extended common-mode range (12V to -7V). It also meets the requirements of RS422 and features high speed operation up to 2.5Mb/s. The CMOS design offers significant power savings without sacrificing ruggedness against overload or ESD damage. Typical quiescent current is only $300\mu\text{A}$ while operating and $1\mu\text{A}$ in shutdown.

The driver and receiver feature three-state outputs, with the driver outputs maintaining high impedance over the entire common-mode range. Excessive power dissipation caused by bus contention or faults is prevented by a thermal shutdown circuit which forces the driver outputs into a high impedance state. The receiver has a fail-safe feature which guarantees a high output state when the inputs are left open. I/O pins are protected against multiple ESD strikes of up to $\pm 10\text{kV}$.

The LTC1480 is fully specified over the commercial and extended industrial temperature range. The LTC1480 is available in 8-pin SO and DIP packages.

LT, LTC and LT are registered trademarks of Linear Technology Corporation.

TYPICAL APPLICATION



1

LTC1480

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(Note 1)

Supply Voltage (V_{CC})	7V
Control Input Voltage	-0.3V to $V_{CC} + 0.3V$
Driver Input Voltage	-0.3V to $V_{CC} + 0.3V$
Driver Output Voltage	$\pm 14V$
Receiver Input Voltage	$\pm 14V$
Receiver Output Voltage	-0.3V to $V_{CC} + 0.3V$
Operating Temperature Range	
LTC1480C	$0^{\circ}C \leq T_A \leq 70^{\circ}C$
LTC1480I	$-40^{\circ}C \leq T_A \leq 85^{\circ}C$
Storage Temperature Range	$-65^{\circ}C$ to $150^{\circ}C$
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	$300^{\circ}C$

PACKAGE/ORDER INFORMATION

<p>N8 PACKAGE 8-LEAD PDIP</p> <p>S8 PACKAGE 8-LEAD PLASTIC SO</p> <p>$T_{JMAX} = 125^{\circ}C, \theta_{JA} = 130^{\circ}C/W$ (N8) $T_{JMAX} = 125^{\circ}C, \theta_{JA} = 150^{\circ}C/W$ (S8)</p>	ORDER PART NUMBER
	LTC1480CN8 LTC1480IN8 LTC1480CS8 LTC1480IS8
	S8 PART MARKING
	1480 1480I

Consult factory for Military grade parts.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_{CC} = 3.3V$ (Notes 2, 3)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{OD1}	Differential Driver Output Voltage (Unloaded)	$I_O = 0V$	●		3.3	V
V_{OD2}	Differential Driver Output Voltage (with Load)	R = 27 Ω (RS485), Figure 1 R = 50 Ω (RS422)	●	1.5	3.3	V
ΔV_{OD}	Change in Magnitude of Driver Differential Output Voltage for Complementary Output States	R = 27 Ω or R = 50 Ω , Figure 1	●		0.2	V
V_{OC}	Driver Common-Mode Output Voltage	R = 27 Ω or R = 50 Ω , Figure 1	●		2	V
$\Delta V_{OC} $	Change in Magnitude of Driver Common-Mode Output Voltage for Complementary Output States	R = 27 Ω or R = 50 Ω , Figure 1	●		0.2	V
V_{IH}	Input HIGH Voltage	DE, DI, \overline{RE}	●	2		V
V_{IL}	Input LOW Voltage	DE, DI, \overline{RE}	●		0.8	V
I_{IN1}	Input Current	DE, DI, \overline{RE}	●		± 2	μA
I_{IN2}	Input Current (A, B)	DE = 0, $V_{CC} = 0V$ or 3.6V, $V_{IN} = 12V$ DE = 0, $V_{CC} = 0V$ or 3.6V, $V_{IN} = -7V$	●		1.0 -0.8	mA
V_{TH}	Differential Input Threshold Voltage for Receiver	$-7V \leq V_{CM} \leq 12V$	●	-0.2	0.2	V
ΔV_{TH}	Receiver Input Hysteresis	$V_{CM} = 0V$		70		mV
V_{OH}	Receiver Output HIGH Voltage	$I_O = -4mA, V_{ID} = 200mV$	●	2		V
V_{OL}	Receiver Output LOW Voltage	$I_O = 4mA, V_{ID} = -200mV$	●		0.4	V
I_{OZR}	Three-State (High Impedance) Output Current at Receiver	$V_{CC} = Max, 0.4V \leq V_O \leq 2.4V$	●		± 1	μA
R_{IN}	Receiver Input Resistance	$-7V \leq V_{CM} \leq 12V$	●	12		k Ω
I_{CC}	Supply Current	No Load, Output Enabled No Load, Output Disabled	●	400 300	600 500	μA
I_{SHDN}	Supply Current in Shutdown Mode	DE = 0, $\overline{RE} = V_{CC}$		1	10	μA
I_{OSD1}	Driver Short-Circuit Current, $V_{OUT} = HIGH$	$-7V \leq V_O \leq 12V$	●	35	250	mA
I_{OSD2}	Driver Short-Circuit Current, $V_{OUT} = LOW$	$-7V \leq V_O \leq 12V$	●	35	250	mA
I_{OSR}	Receiver Short-Circuit Current	$0V \leq V_O \leq V_{CC}$	●	7	85	mA

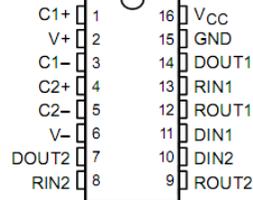
B.5 Hoja de datos del MAX232

MAX3232 3-V TO 5.5-V MULTICHANNEL RS-232 LINE DRIVER/RECEIVER

SLS410F – JANUARY 2000 – REVISED AUGUST 2002

- Meets or Exceeds the Requirements of TIA/EIA-232-F and ITU v.28 Standards
- Operates With 3-V to 5.5-V V_{CC} Supply
- Operates up to 250 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- Low Supply Current . . . 300 μ A Typical
- External Capacitors . . . $4 \times 0.1 \mu$ F
- Accepts 5-V Logic Input With 3.3-V Supply
- Designed to Be Interchangeable With Maxim MAX3232
- RS-232 Bus-Pin ESD Protection Exceeds ± 15 kV Using Human-Body Model (HBM)
- Applications
 - Battery-Powered Systems, PDAs, Notebooks, Laptops, Palmtop PCs, and Hand-Held Equipment

D, DB, DW, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The MAX3232 device consists of two line drivers, two line receivers, and a dual charge-pump circuit with ± 15 -kV ESD protection pin to pin (serial-port connection pins, including GND). The device meets the requirements of TIA/EIA-232-F and provides the electrical interface between an asynchronous communication controller and the serial-port connector. The charge pump and four small external capacitors allow operation from a single 3-V to 5.5-V supply. The devices operate at data signaling rates up to 250 kbit/s and a maximum of 30-V/ μ s driver output slew rate.

ORDERING INFORMATION

TA	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING	
–0°C to 70°C	SOIC – D	Tube	MAX3232CD	MAX3232C	
		Tape and reel	MAX3232CDR		
	SOIC – DW	Tube	MAX3232CDW	MAX3232C	
		Tape and reel	MAX3232CDWR		
		SSOP – DB	Tape and reel	MAX3232CDBR	MA3232C
		TSSOP – PW	Tape and reel	MAX3232CPWR	MA3232C
–40°C to 85°C	SOIC – D	Tube	MAX3232ID	MAX3232I	
		Tape and reel	MAX3232IDR		
	SOIC – DW	Tube	MAX3232IDW	MAX3232I	
		Tape and reel	MAX3232IDWR		
		SSOP – DB	Tape and reel	MAX3232IDBR	MB3232I
		TSSOP – PW	Tape and reel	MAX3232IPWR	MB3232I

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

1

MAX3232
3-V TO 5.5-V MULTICHANNEL RS-232 LINE DRIVER/RECEIVER

SLLS410F – JANUARY 2000 – REVISED AUGUST 2002

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage range, V_{CC} (see Note 1)	–0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, $V+$ (see Note 1)	–0.3 V to 7 V
Negative output supply voltage range, $V-$ (see Note 1)	0.3 V to –7 V
Supply voltage difference, $V+ - V-$ (see Note 1)	13 V
Input voltage range, V_I : Drivers	–0.3 V to 6 V
Receivers	–25 V to 25 V
Output voltage range, V_O : Drivers	–13.2 V to 13.2 V
Receivers	–0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package	73°C/W
DB package	82°C/W
DW package	57°C/W
PW package	108°C/W
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	–65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. All voltages are with respect to network GND.
2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

recommended operating conditions (see Note 3 and Figure 4)

		MIN	NOM	MAX	UNIT	
Supply voltage		$V_{CC} = 3.3$ V	3	3.3	3.6	V
		$V_{CC} = 5$ V	4.5	5	5.5	
V_{IH}	Driver high-level input voltage	DIN	$V_{CC} = 3.3$ V	2		V
			$V_{CC} = 5$ V	2.4		
V_{IL}	Driver low-level input voltage	DIN	0.8		V	
V_I	Driver input voltage	DIN	0	5.5		V
	Receiver input voltage		–25	25		
T_A	Operating free-air temperature	MAX3232C	0	70		°C
		MAX3232I	–40	85		

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 0.1 μ F at $V_{CC} = 3.3$ V \pm 0.3 V; C1 = 0.047 μ F, C2–C4 = 0.33 μ F at $V_{CC} = 5$ V \pm 0.5 V.

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted) (see Note 3 and Figure 4)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
I_{CC} Supply current	No load, $V_{CC} = 3.3$ V or 5 V		0.3	1	mA

‡ All typical values are at $V_{CC} = 3.3$ V or $V_{CC} = 5$ V, and $T_A = 25^\circ$ C.

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 0.1 μ F at $V_{CC} = 3.3$ V \pm 0.3 V; C1 = 0.047 μ F, C2–C4 = 0.33 μ F at $V_{CC} = 5$ V \pm 0.5 V.



Fórmulas

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D}{4f}} \quad (3.1)$$

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D}{4f}} \quad (5.1)$$