

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE TIEMPO PARA LOS RECORRIDOS DE LAS UNIDADES DE LA COOPERATIVA DE TRANSPORTES "OTAVALO" MEDIANTE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA EN LA RUTA OTAVALO - IBARRA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN
ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

AUTORA: MARÍA CRISTINA CISNEROS MEJÍA

DIRECTOR: ING. GERARDO COLLAGUAZO

Ibarra, 2010

DECLARACION

Yo, María Cristina Cisneros Mejía, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que éste no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las Leyes de Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

María Cristina Cisneros Mejía

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por María Cristina Cisneros Mejía, bajo mi supervisión.

Ing. Gerardo Collaguazo

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto no hubiese sido posible sin la colaboración y el apoyo de personas que se interesaron en el mismo y a quienes van dedicadas éstas líneas.

Agradezco a Dios por otorgarme el preciado don de la vida y permitirme día a día luchar por conseguir mis objetivos; agradezco principalmente a mi familia por luchar junto a mí en todo momento con el objetivo de ver concluido este Proyecto.

A los Ingenieros Gerardo Collaguazo, Director de Tesis y Jaime Michilena, docente de la materia Trabajo de Grado por sus aportes invaluable en éste proyecto.

Mi agradecimiento en especial a la Cooperativa de Transportes “Otavalo” pues su apoyo resultó fundamental en el desarrollo de éste proyecto por las facilidades prestadas durante la elaboración del mismo así como también en las pruebas realizadas y en el acceso a los datos de la cooperativa.

Gracias también a la Empresa Eléctrica Regional Norte por su desinteresada colaboración en la instalación de los módulos nodos en los postes de alumbrado público de la empresa.

DEDICATORIA

A mis padres, por haberme dado la vida y porque siempre han estado a mi lado brindándome todo su apoyo y su confianza; espero no haberles defraudado y que cualquier cosa mal hecha, sepan disculparme. Aquí se ve reflejada la formación que me han dado como padres y todo su esfuerzo realizado para darme una profesión que la sabré ejercer con toda la responsabilidad y demás valores que me han inculcado siempre. Les amo papitos y gracias por todo...

A mi esposo y a mi hijo Mateo Andrés porque han sido mi motivación y se han convertido en la razón de mi vida y es por ustedes que he luchado día a día hasta conseguir éste preciado sueño de ser profesional.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño y construcción de un prototipo electrónico compuesto de Hardware y Software que permita realizar el control de tiempo del recorrido de las unidades de la Cooperativa de Transportes “Otavalo” en la ruta Otavalo – Ibarra de manera automática utilizando la tecnología ZigBee como medio de transmisión inalámbrico; brindando así una alternativa más económica, confiable, eficaz y segura que el sistema manual utilizado en la actualidad en nuestro medio y en la Cooperativa de Transportes “Otavalo”.

Para el desarrollo del sistema se comienza con un análisis a fondo de la tecnología ZigBee; luego se realiza una descripción del prototipo acorde con las necesidades que pide la empresa y ya con una visión clara de lo que se pretende lograr se realiza un enfoque general mediante diagramas de bloques de cada módulo que compone el sistema para luego elegir los dispositivos electrónicos que se adapten de mejor manera a los requerimientos del prototipo, con esto se hace un breve estudio de dichos componentes electrónicos y se procede al diseño de los diagramas esquemáticos y del software a implementarse en los microcontroladores del prototipo.

Posteriormente, con el hardware terminado se realiza el diseño del Sistema de Almacenamiento de Información en el lenguaje de programación Java sobre la plataforma Netbeans IDE 6.8 ya que no es un software propietario y no se requiere de licencias para desarrollar aplicaciones al igual que en MySQL la cual es la base de datos empleada en el sistema.

Disponibles el software y hardware se realiza la implementación y las pruebas del sistema, estableciendo de esta forma los parámetros reales de funcionamiento del prototipo.

Finalmente, con toda la información obtenida en el desarrollo del proyecto se procede a establecer las conclusiones respectivas y se sugieren las posibles mejoras al sistema.

ABSTRACT

This work consists on the design and construction of an electronic hardware and software compound prototype that allows to control the time travel of the units of the Cooperativa de Transportes "Otavalo" in the path Otavalo - Ibarra automatically using ZigBee technology as a wireless transmission medium, giving us a cheaper alternative, reliable, efficient and secure than the manual system used at present in our environment of the Cooperativa de Transportes "Otavalo".

To develop of the system it begins with a thorough analysis of ZigBee technology, then it is provided by the description of the prototype in line with the needs which calls the company and with a clear vision of what we like to achieve a comprehensive approach by block diagrams of each module which makes up the system to then choose the electronic devices that suits better the requirements of the prototype, with this, we make a brief study of these electronic components and the design schematics and software to be implemented in the microcontroller of the prototype.

Later, with the complete hardware design it is carried the Information Storage System in the Java programming language on the platform to Netbeans IDE 6.8 which is not a proprietary software and no license is required to develop applications as in MySQL which is the database used in the system.

Available software and hardware it is made the implementation and testing of the system, thus establishes the actual operating parameters of the prototype.

Finally, with all the information obtained in the development of the project we will proceed to establish the respective conclusions and suggest possible improvements to the system.

PRESENTACION

El problema que permitió desarrollar el presente proyecto, es el hecho de que en la actualidad no existe un sistema autónomo de control detallado del tiempo de recorrido en las rutas, o si lo tienen son sistemas ineficientes que operan manualmente como es el caso de los famosos “tarjeteros”, los mismos que para ser accionados demandan la intervención humana, lo que genera riesgos, trampa y hasta corrupción.

Éstos sistemas electromecánicos con intervención de personal humano para ser accionados resultan laboriosos al momento de recolectar la información y verificar los tiempos marcados en las tarjetas; por lo que se propone un sistema autónomo de control de tiempo, que permita adquirir éstos datos sin manipulación externa e inalámbricamente, evitando también de esta manera el peligro al que se someten las personas encargadas de accionar el reloj electromecánico ya que no será necesario que la unidad de transporte interrumpa su recorrido para marcar el tiempo; bastará con que pase por el punto de control para que la información sea almacenada en dicha unidad de transporte que al finalizar su recorrido entregará automáticamente la información a la estación de descarga.

Para la estación de descarga, el presente proyecto brinda una herramienta para la administración de la información recolectada en los trayectos de las unidades de transporte, permitiendo tener datos confiables y de fácil acceso para gestionar de mejor forma los procesos administrativos, esto se realizará mediante un software desarrollado específicamente para este fin.

En este trabajo se presenta el diseño completo del prototipo y los resultados obtenidos con la implementación del mismo, además de las conclusiones y recomendaciones respectivas.

CONTENIDO

CAPÍTULO I	18
1 ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA ZIGBEE	18
1.1 INTRODUCCIÓN ^[1]	19
1.2 CARACTERÍSTICAS ^{[3], [4]}	21
1.3 ELEMENTOS DE RED ZIGBEE ^[1, 3, 5]	23
1.3.1 <i>El Coordinador</i>	23
1.3.2 <i>Los Routers</i>	23
1.3.3 <i>Dispositivos Finales</i>	24
1.3.4 <i>Dispositivo de funcionalidad completa (FFD)</i>	24
1.3.5 <i>Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD)</i>	24
1.4 TOPOLOGÍAS DE LAS REDES ZIGBEE ^[4, 7]	24
1.4.1 <i>Topología punto a punto (Point to Point)</i>	25
1.4.2 <i>Topología en estrella (Star)</i>	25
1.4.3 <i>Topología en árbol (Cluster Tree)</i>	26
1.4.4 <i>Topología de malla (Mesh)</i>	26
1.5 ESTRATEGIAS DE CONEXIÓN DE LOS DISPOSITIVOS ZIGBEE ^[1, 4]	27
1.5.1 <i>Con balizas</i>	27
1.5.2 <i>Sin balizas</i>	28
1.6 ARQUITECTURA BÁSICA ZIGBEE ^[7]	29
1.6.1 <i>Capa Física</i>	30
1.6.1.1 <i>Subcapa PHY</i>	30
1.6.1.2 <i>Subcapa MAC</i>	30
1.6.2 <i>Capa de Red</i>	31
1.6.3 <i>Capa de Aplicación</i>	31
1.7 TIPOS DE TRAMAS Y FORMATOS ^[3, 7]	32
1.7.1 <i>Trama ACK</i>	33

1.7.2	<i>Trama de Comandos y Configuración</i>	33
1.7.3	<i>Trama Baliza (Beacon)</i>	34
1.8	TRÁFICO SOPORTADO ^[6]	35
1.9	CANALES DE FRECUENCIA ^[7]	35
1.10	ÁREAS DE APLICACIÓN ^[4, 8]	37
1.11	COMPARACIÓN CON OTROS ESTÁNDARES DE REDES PERSONALES (PAN).....	38
1.11.1	<i>Wi-Fi</i>	38
1.11.2	<i>Bluetooth</i>	38
1.11.3	<i>ZigBee Vs. Bluetooth</i>	39
CAPÍTULO II		42
2	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	42
2.1	DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO.....	43
2.2	CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL HARDWARE	44
2.3	DISEÑO DEL HARDWARE	46
2.3.1	<i>Diagrama de bloques Módulo-Usuario</i>	46
2.3.2	<i>Diagrama de bloques Módulo-Nodo</i>	47
2.3.3	<i>Diagrama de bloques Módulo-Máster</i>	47
2.3.4	<i>Componentes Electrónicos</i>	48
2.3.4.1	Microcontrolador ^[10]	48
2.3.4.1.1	PIC 18F4550 y 18F2550.....	48
2.3.4.1.2	Características Generales.....	49
2.3.4.1.3	Distribución de pines	49
2.3.4.1.4	Características Eléctricas.....	53
2.3.4.1.5	Manejo de Interrupciones.....	53
2.3.4.1.6	Interrupción por desbordamiento del registro TIMER0	55
2.3.4.1.7	Interrupción por recepción de un caracter por la interface serie asincrónica	55
2.3.4.2	Módulo XBee ^[2]	56
2.3.4.3	PANTALLA GRÁFICA DE CRISTAL LÍQUIDO (GLCD).....	58
2.3.4.4	Memoria EEPROM 24LC256 ^[12]	59

2.3.4.4.1	Distribución de pines	60
2.3.4.5	Reloj de tiempo real DS1307 ^[9]	62
2.3.4.5.1	Características Generales.....	62
2.3.4.5.2	Distribución de pines	63
2.3.4.5.3	Mapa de Direcciones	63
2.3.4.5.4	Funcionamiento	64
2.3.5	<i>Diagrama esquemático Módulo-Usuario</i>	65
2.3.5.1	Módulo XBee.....	65
2.3.5.2	GLCD.....	67
2.3.5.3	Memoria 24LC256	67
2.3.5.4	Reloj/Calendario.....	68
2.3.5.5	Microcontrolador Módulo Usuario.....	69
2.3.5.6	Fuente Módulo Usuario	69
2.3.6	<i>Diagrama esquemático modulo-nodo</i>	71
2.3.6.1	Microcontrolador Módulo Nodo	71
2.3.6.2	Fuente Módulo Nodo.....	71
2.3.7	<i>Diagrama esquemático Módulo-Máster</i>	72
2.3.7.1	Microcontrolador Módulo Máster.....	72
2.4	COMUNICACIONES	73
2.4.1	<i>Comunicación SERIAL ASÍNCRONA USART</i> ^[14]	73
2.4.2	<i>Comunicación I2C</i> ^[15]	74
2.4.3	<i>Comunicación USB CDC</i> ^[13, 16]	76
2.5	DISEÑO DEL SOFTWARE	77
2.5.1	<i>Diagramas de flujo</i>	77
CAPÍTULO III.....		80
3	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	80
3.1	PROGRAMA PARA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	81
3.1.1	<i>Parámetros a considerarse en el diseño del software</i>	81
3.1.2	<i>Descripción del software</i>	83

3.1.3	<i>Ventana de Gestión del Sistema</i>	85
3.1.4	<i>Ventana de Administración de Datos</i>	86
3.1.5	<i>Ventana para Cargar Rutas</i>	88
3.1.6	<i>Ventana para Cancelar Retrasos</i>	89
3.1.7	<i>Ventana para cargar el Cuadro de Trabajo diario</i>	90
3.2	BASE DE DATOS.....	90
3.2.1	<i>Modelo Relacional de la Base de Datos.</i>	91
3.2.1.1	Tabla Rutas.....	92
3.2.1.2	Tabla Cuadro_Trabajo.....	92
3.2.1.3	Tabla Destinos.....	93
3.2.1.4	Tabla Lugares	93
3.2.1.5	Tabla Registro_Tiempos.....	94
3.2.1.6	Tabla Retrasos.....	95
3.2.1.7	Tabla Unidades.....	96
CAPÍTULO IV		97
4	IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO	97
4.1	CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO XBEE MEDIANTE UN PC ^[17]	98
4.2	IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	103
4.3	PRUEBAS REALIZADAS.....	105
4.3.1	<i>Pruebas de alcance inalámbrico:</i>	107
4.3.1.1	Alcance con obstáculos.....	107
4.3.1.2	Alcance sin obstáculos	108
4.3.2	<i>Pruebas de Interferencia:</i>	109
4.4	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	109
4.4.1	<i>CALCULO DE COSTOS DEL PTC</i>	109
4.4.1.1	Módulo usuario.....	109
4.4.1.2	Módulo Nodo.....	111
4.4.1.3	Módulo Máster	112
4.4.2	<i>COMPARACIÓN DE SISTEMAS</i>	113

CAPÍTULO V	115
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
5.1 CONCLUSIONES	116
5.2 RECOMENDACIONES.....	117
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
GLOSARIO DE TÉRMINOS	122

ANEXO 1: Características del Módulo XBee

ANEXO 2: Hoja de datos de la Pantalla Gráfica (GLCD)

ANEXO 3: Manual de Usuario del PCT

ANEXO 4: Circuitos Impresos

ANEXO 5: Código Fuente de los Microcontroladores

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

FIGURA 1.1 ÍCONO DE LA ZIGBEE ALLANCE	20
FIGURA 1.2 PRINCIPALES NECESIDADES QUE SATISFACE ZIGBEE (FUENTE PROPIA)	20
FIGURA 1.3 CONEXIÓN TÍPICA USANDO XBEE	21
FIGURA 1.4 ELEMENTOS DE RED ZIGBEE (FUENTE PROPIA).....	23
FIGURA 1.5 RED ZIGBEE.....	25
FIGURA 1.6 TOPOLOGÍA ESTRELLA (FUENTE PROPIA).....	25
FIGURA 1.7 TOPOLOGÍA ÁRBOL (FUENTE PROPIA).....	26
FIGURA 1.8 TOPOLOGÍA MALLA (FUENTE PROPIA)	27
FIGURA 1.9 ESTRATEGIAS DE CONEXIÓN ZIGBEE (FUENTE PROPIA)	28
FIGURA 1.10 ARQUITECTURA BÁSICA ZIGBEE.....	29
FIGURA 1.11 FUNCIONES DE LA SUBCAPA PHY (FUENTE PROPIA)	30
FIGURA 1.12 MÉTODOS QUE BRINDA LA CAPA DE RED (FUENTE PROPIA).....	31
FIGURA 1.13 FUNCIONES DE LA CAPA DE SOPORTE DE APLICACIÓN (FUENTE PROPIA)	32
FIGURA 1.14 CAMPOS DE LOS TIPOS DE TRAMAS ZIGBEE	32
FIGURA 1.15 TRÁFICO SOPORTADO POR ZIGBEE (FUENTE PROPIA)	35
FIGURA 1.16 CANALES DISPONIBLES PARA EL PROTOCOLO IEEE 802.15.4	36
FIGURA 1.17 CAMPOS DE APLICACIÓN ZIGBEE.....	37
FIGURA 1.18 APLICACIONES DE BLUETOOTH	39

CAPÍTULO II

FIGURA 2.1 ESQUEMA GENERAL DEL PCT	43
FIGURA 2.2 UBICACIÓN REAL DE LOS PUNTOS DE CONTROL.....	45
FIGURA 2.3 DIAGRAMA GENERAL DEL PTC.	46
FIGURA 2.4 DIAGRAMA DE BLOQUES MÓDULO-USUARIO	46
FIGURA 2.5 DIAGRAMA DE BLOQUES MÓDULO-NODO	47
FIGURA 2.6 DIAGRAMA DE BLOQUES MÓDULO-MÁSTER	47
FIGURA 2.7 DISTRIBUCIÓN DE PINES PIC 18F4550	50

FIGURA 2.8 DISTRIBUCIÓN DE PINES PIC 18F2550 ²⁰	50
FIGURA 2.9 INTCON: INTERRUPT CONTROL REGISTER	54
FIGURA 2.10 MÓDULO XBEE DE MAXSTREAM	56
FIGURA 2.11 DIAGRAMA DE BLOQUES, CONEXIÓN MÓDULOS XBEE	56
FIGURA 2.12 DIAGRAMA INTERNO DE FLUJO DE DATOS	58
FIGURA 2.13 DIAGRAMA DE BLOQUES GLCD	59
FIGURA 2.14 GLCD CM12864-2	59
FIGURA 2.15 MEMORIA SERIAL 24LC256	60
FIGURA 2.16 DIAGRAMA DE BLOQUES MEMORIA EEPROM	61
FIGURA 2.17 RELOJ DE TIEMPO REAL DS1307	62
FIGURA 2.18 DIAGRAMA DE BLOQUES DS1307 ³⁵	63
FIGURA 2.19 MAPA DE DIRECCIONES RELOJ DS1307	64
FIGURA 2.20 REGISTROS RELOJ DS1307	65
FIGURA 2.21 CONEXIÓN AL MÓDULO XBEE	66
FIGURA 2.22 CONEXIÓN GLCD	67
FIGURA 2.23 CONEXIÓN MEMORIA SERIAL	68
FIGURA 2.24 CONEXIÓN RELOJ/CALENDARIO	69
FIGURA 2.25 CONEXIONES PIC MÓDULO USUARIO	69
FIGURA 2.26 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO FUENTE	70
FIGURA 2.27 CONEXIONES PIC MÓDULO NODO	71
FIGURA 2.28 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO FUENTE MÓDULO NODO	72
FIGURA 2.29 CONEXIONES PIC MÓDULO MÁSTER	73
FIGURA 2.30 CARACTER ASINCRÓNICO	74
FIGURA 2.31 FLUJOGRAMA MÓDULO MÁSTER	77
FIGURA 2.32 FLUJOGRAMA MÓDULO USUARIO	79
FIGURA 2.33 FLUJOGRAMA MÓDULO NODO	79

CAPÍTULO III

FIGURA 3.1 ESQUEMA DE COMUNICACIÓN DEL PCT.	83
FIGURA 3.2 VENTANA DE INICIO	84
FIGURA 3.3 VENTANA DE INGRESO Y CONEXIÓN	84

FIGURA 3.4 VENTANA DE GESTIÓN DE TODO EL SISTEMA	85
FIGURA 3.5 VENTANA DE ADMINISTRACIÓN DE DATOS.....	87
FIGURA 3.6 VENTANA PARA CARGAR RUTAS.....	88
FIGURA 3.7 MENSAJE DE CONFIRMACIÓN.....	88
FIGURA 3.8 VENTANA PARA CANCELAR RETRASOS	89
FIGURA 3.9 COMPROBANTE DE PAGO DE RETRASO.....	90
FIGURA 3.10 VENTANA PARA GESTIONAR CUADRO DE TRABAJO EN LA RUTA OTAVALO – IBARRA	91
FIGURA 3.11 MODELO RELACIONAL DE LA BDD.....	91
FIGURA 3.12 INFORMACIÓN DE LA TABLA RUTAS.....	92
FIGURA 3.13 INFORMACIÓN DE LA TABLA CUADRO_TRABAJO	93
FIGURA 3.14 INFORMACIÓN DE LA TABLA DESTINOS	93
FIGURA 3.15 INFORMACIÓN DE LA TABLA LUGARES.....	94
FIGURA 3.16 INFORMACIÓN DE LA TABLA REGISTRO_TIEMPOS	95
FIGURA 3.17 INFORMACIÓN DE LA TABLA RETRASOS	96
FIGURA 3.18 INFORMACIÓN DE LA TABLA UNIDADES.....	96

CAPÍTULO IV

FIGURA 4.1 ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA LA CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO XBEE	98
FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE CONEXIÓN MAX232-XBEE.....	99
FIGURA 4.3 SOFTWARE X-CTU.....	100
FIGURA 4.4 MENSAJE DE CONFIRMACIÓN DE CONEXIÓN.....	100
FIGURA 4.5 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO XBEE.....	101
FIGURA 4.6 ESCRITURA DEL MÓDULO XBEE.....	103
FIGURA 4.7 UBICACIÓN DEL TRANSCEIVER DEL MÓDULO MÁSTER	104
FIGURA 4.8 MÓDULO USUARIO	105
FIGURA 4.9 MÓDULO NODO.....	106
FIGURA 4.10 TIEMPOS DEL RECORRIDO OTAVALO – IBARRA.....	106
FIGURA 4.11 TIEMPOS DEL RECORRIDO IBARRA – OTAVALO.....	107
FIGURA 4.12 ESQUEMA DE PRUEBAS REALIZADAS CON OBSTÁCULOS	108
FIGURA 4.13 ESQUEMA DE PRUEBAS REALIZADAS SIN OBSTÁCULOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

TABLA 1.1 TIPOS DE COMANDOS ^[7]	33
TABLA 1.2 FRECUENCIA DE CANALES PROTOCOLO IEEE 802.15.4 ¹²	36
TABLA 1.3 COMPARACIÓN DE ZIGBEE CON OTRAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS (FUENTE PROPIA)	40

CAPÍTULO II

TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS PIC 18F4550 - 18F2550	49
TABLA 2.2 USO DE LOS PINES PIC18F4550 - MÓDULO USUARIO	51
TABLA 2.3 USO DE LOS PINES PIC18F2550 - MÓDULO NODO ²²	52
TABLA 2.4 USO DE LOS PINES PIC18F2550 - MÓDULO MÁSTER	52
TABLA 2.5 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS PIC 18F4550 - 18F2550	53
TABLA 2.6 DESCRIPCIÓN DE PINES MEMORIA 24LC256 ³³	61
TABLA 2.7 DESCRIPCIÓN DE PINES DS1307	63
TABLA 2.8 CORRIENTE MÓDULO USUARIO	70
TABLA 2.9 CORRIENTE MÓDULO NODO	71

CAPÍTULO III

TABLA 3.1 TRAMAS QUE ENVIARÁ EL MÓDULO-MÁSTER	82
---	----

CAPÍTULO IV

TABLA 4.1 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN PARA LOS MÓDULOS MASTER, NODO Y USUARIO.....	102
TABLA 4.2 COMPARACIÓN TEÓRICO - PRÁCTICA DE CORRIENTES.....	104
TABLA 4.3 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN MÓDULO USUARIO (FUENTE PROPIA).....	110
TABLA 4.4 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN MÓDULO NODO (FUENTE PROPIA)	111
TABLA 4.5 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN MÓDULO MÁSTER (FUENTE PROPIA).....	112
TABLA 4.6 COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA (FUENTE PROPIA)	112
TABLA 4.7 COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE SISTEMAS (FUENTE PROPIA)	113

CAPÍTULO I

ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA ZIGBEE

Este capítulo describe las características de la tecnología inalámbrica a utilizarse en el desarrollo del prototipo. Se presenta la arquitectura, topologías, formato de la trama, tipos de tráfico soportados, elementos de red y las posibles áreas de aplicación del protocolo Zigbee/IEEE 802.15.4. Además se establece diferencias con otras tecnologías de redes de área personal (PAN) como son Wi-Fi y Bluetooth.

1.1 INTRODUCCIÓN [1]

En la actualidad las comunicaciones inalámbricas de corto alcance han tenido un gran desarrollo tecnológico debido a su facilidad de implementación al ser el aire su medio de propagación entre emisor y receptor; así como también tienen un amplio campo de aplicaciones en que se las pueden adaptar, tal es el caso del presente tema de trabajo de grado; entre las comunicaciones inalámbricas de corto alcance tenemos a *Wi-Fi*, que es un sistema de envío de datos empleada en redes computacionales de área local; *Bluetooth* se la ocupa en Redes de Área Personal para la transmisión de voz y datos entre dispositivos móviles principalmente y la que se adecua en la construcción de éste prototipo, *ZigBee*.

ZigBee es un protocolo de comunicaciones inalámbrico basado en el estándar IEEE 802.15.4. Dicho estándar define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos.

ZigBee fue creado por *ZigBee Alliance*, una organización, sin ánimo de lucro, de más de 200 grandes empresas como Siemens, Motorola, Mitsubishi, Philips, Samsung, Honeywell, entre otras, muchas de ellas fabricantes de semiconductores cuyo objetivo es habilitar redes inalámbricas con capacidades de control y monitoreo que sean confiables, de bajo consumo energético y de bajo costo, que funcione vía radio y de modo bidireccional; todo basado en un estándar público global.



Figura 1.1 Ícono de la ZigBee Alliance¹

ZigBee utiliza la banda ISM² que opera en la frecuencia de 2,4 GHz en todo el mundo; es por ello que la mayoría de empresas optan por diseñar dispositivos que trabajen a esta frecuencia que además de ser estándar, es de uso libre; pudiéndose usar en cualquier lugar del planeta sin ningún inconveniente de interferencias o costos por alquiler del espectro electromagnético.

En la Figura 1.2 se puede observar las principales necesidades que satisface ZigBee.



Figura 1.2 Principales necesidades que satisface ZigBee (Fuente Propia)

“El uso del protocolo ZigBee va desde reemplazar un cable para una comunicación serial inalámbrica, hasta el desarrollo de configuraciones punto a punto, multipunto, peer-to-peer (todos los nodos conectados entre sí) o redes complejas de sensores. Una conexión típica se muestra en la Figura 1.3, donde

¹ Fuente: <http://www.zigbee.org/>

² ISM (Industrial, Scientific and Medical) son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica.

se observa que cada módulo XBee³ posee algún tipo de sensor, el cual entrega los datos para ser enviados a través de la red a un Centro que administre la información.” [2]

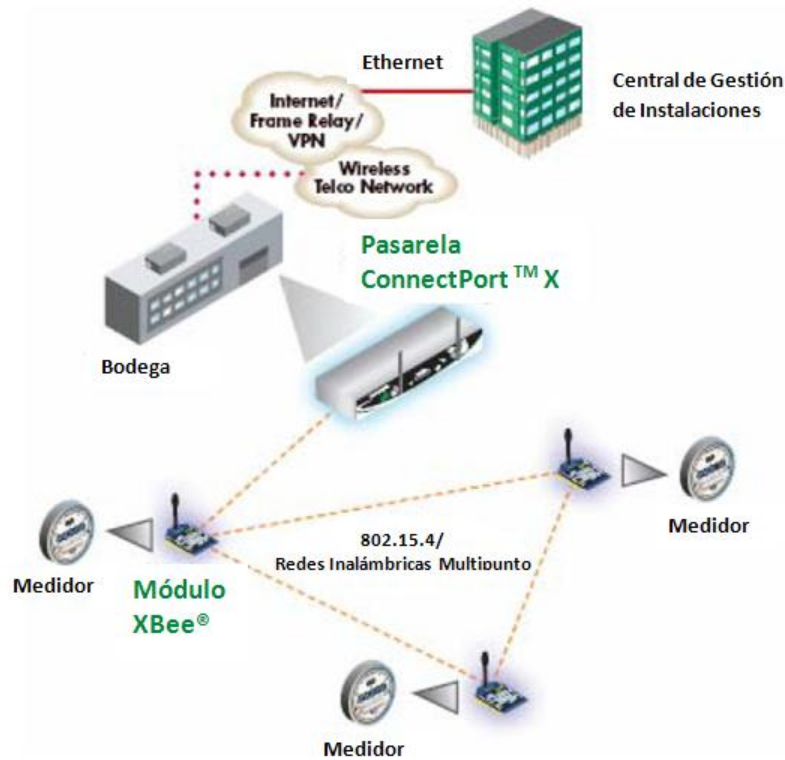


Figura 1.3 Conexión típica usando XBee⁴

1.2 CARACTERÍSTICAS [3], [4]

El protocolo ZigBee/IEEE 802.15.4 presenta las siguientes características:

1. Es un estándar creado para la Tx/Rx⁵ de datos a corto alcance, basado en la especificación IEEE 802.15.4 para redes de área personal (PAN).
2. Opera en las bandas libres ISM con 868 MHz en Europa, 915 MHz en Estados Unidos y 2,4 GHz en todo el mundo.

³ Módulo de radio frecuencia con protocolo IEEE 802.15.4/ZigBee fabricado por MAXSTREAM

⁴ Fuente: [2] Guía de Usuario del módulo XBee en español, pág. 8

⁵ Transmisión/Recepción

3. Tiene una velocidad de transmisión de 250 kbps y rango de cobertura de 10 a 750 metros dependiendo de la potencia de transmisión.
4. Utiliza la tecnología de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS) como técnica de modulación, la cual usa un “código de pseudoruido para modular directamente una portadora, de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral (es decir, el nivel de potencia en cualquier frecuencia dada). La señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido, de tal forma que a todos los radiorreceptores les parecerá ruido menos al que va dirigida la señal.”⁶
5. Se basa en la arquitectura Maestro/Esclavo.
6. Posee la capacidad de operar en redes de gran densidad, esta característica ayuda a aumentar la confiabilidad de la comunicación, ya que entre más nodos existan dentro de una red, entonces, mayor número de rutas alternas existirán para garantizar que un paquete llegue a su destino.
7. Permite hasta $2^{16} = 65,536$ nodos por red y 255 por subred ya que cada red ZigBee tiene un identificador de red único, lo que permita que coexistan varias redes en un mismo canal de comunicación sin ningún problema.
8. El método de acceso a la red es mediante CSMA-CA (acceso múltiple por detección de portadora con prevención de colisiones); el cual es un “proceso de tres fases en las que el emisor primero “escucha” para ver si la red está libre, después transmite el dato y finalmente espera un mensaje de confirmación por parte del receptor; asegurando así que el mensaje se recibe correctamente. Sin embargo, debido a las dos transmisiones (mensaje original y de confirmación) se pierde un poco de eficiencia.”⁷

⁶ Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_ensanchado_por_secuencia_directa#DSSS_.28Espectro_Ensanchado_por_Secuencia_Directa_.29

⁷ Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Carrier_sense_multiple_access_with_collision_avoidance

9. Presenta un bajo consumo de energía y bajo costo de los dispositivos, instalación y mantenimiento de la red.

1.3 ELEMENTOS DE RED ZIGBEE [1, 3, 5]

Una red ZigBee la forman básicamente 3 tipos de elementos. Tal como se observa en la Figura 1.4, un único dispositivo llamado Coordinador, dispositivos Routers y dispositivos finales (end points); aunque también pueden ser clasificados en base a su funcionalidad en Dispositivos de Funcionalidad Completa (FFD) y en Dispositivos de Funcionalidad Reducida (RFD).

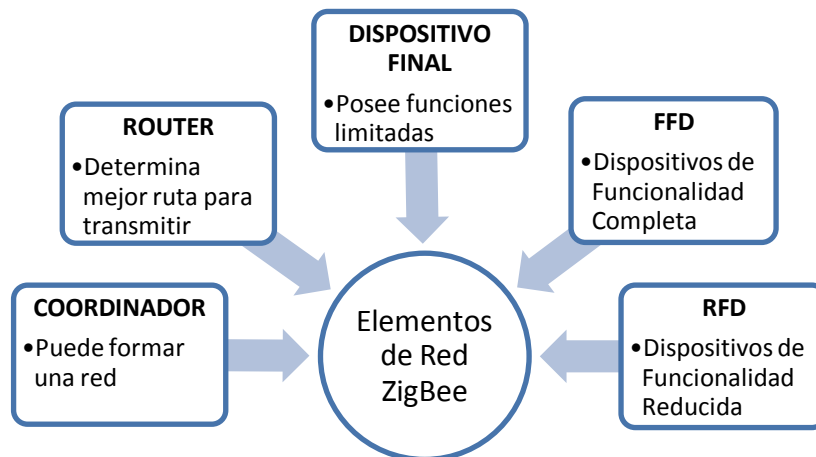


Figura 1.4 Elementos de Red ZigBee (Fuente Propia)

1.3.1 EL COORDINADOR.

Es el nodo de la red que tiene la única función de formar una red. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (identificador de red) para toda la red. Una vez establecidos estos parámetros, el Coordinador puede formar una red, permitiendo unirse a él a dispositivos Routers y End Points o Dispositivos Finales. Una vez formada la red, el Coordinador hace las funciones de router, esto es, participar en el enrutado de paquetes y ser origen y/o destinatario de información.

1.3.2 LOS ROUTERS.

Es un nodo que crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para transmitir un paquete de información. Lógicamente un router debe unirse a una red ZigBee antes de poder actuar como router retransmitiendo paquetes de otros routers o dispositivos finales.

1.3.3 DISPOSITIVOS FINALES.

Los dispositivos finales (end device) no tienen capacidad de enrutar paquetes. Deben interactuar siempre a través de su nodo padre, ya sea este un Coordinador o un Router, es decir, no puede enviar información directamente a otro end device. Normalmente estos equipos van alimentados a baterías. El consumo es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento.

Los dispositivos finales están siempre localizados en los extremos de la red.

1.3.4 DISPOSITIVO DE FUNCIONALIDAD COMPLETA (FFD)

Se apoya en las funciones y características del estándar IEEE 802.15.4. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como coordinador o router, o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interface con los usuarios (dispositivo final).

1.3.5 DISPOSITIVO DE FUNCIONALIDAD REDUCIDA (RFD)

Opera con la mínima implementación del protocolo IEEE 802.15.4, tiene capacidad y funcionalidad limitadas, con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad. Además solo pueden asociarse a un FFD a la vez.

Los FFDs utilizan cualquier topología y son capaces de comunicarse con cualquier otro dispositivo. Los RFD están limitados a utilizar la topología estrella, no pueden ser ni coordinadores ni ruteadores, sólo son capaces de comunicarse con el coordinador de la red. Su implementación es sencilla requiriendo de dispositivos de poca memoria y bajo costo. Pueden operar únicamente como dispositivos finales.

1.4 TOPOLOGÍAS DE LAS REDES ZIGBEE [4, 7]

ZigBee permite cuatro topologías de red: punto a punto, estrella, árbol y malla.

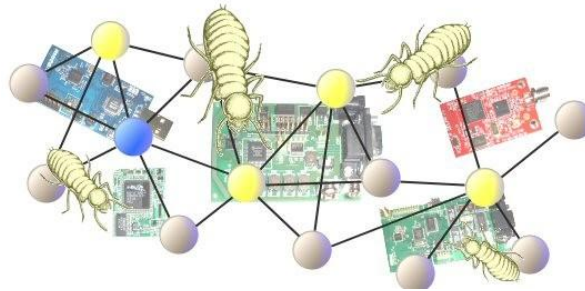


Figura 1.5 Red ZigBee⁸

1.4.1 TOPOLOGÍA PUNTO A PUNTO (POINT TO POINT)

Es la topología más básica que permite ZigBee, a partir de ésta es posible crear topologías más complejas como la de malla, siempre y cuando sea posible el enrutado de los datos de un nodo a otro; aquí dos nodos solo pueden comunicarse entre sí directamente siempre y cuando se encuentren dentro del radio de alcance mutuo.

1.4.2 TOPOLOGÍA EN ESTRELLA (STAR)

Consiste de un coordinador y uno o más dispositivos terminales (routers o end devices). Los terminales se comunican entre sí a través del coordinador, quien determinará el destino de la información, a través de tablas de relaciones (conocidas en inglés como “bindings”) o utilizando direccionamiento directo como se aprecia en la Figura 1.6.

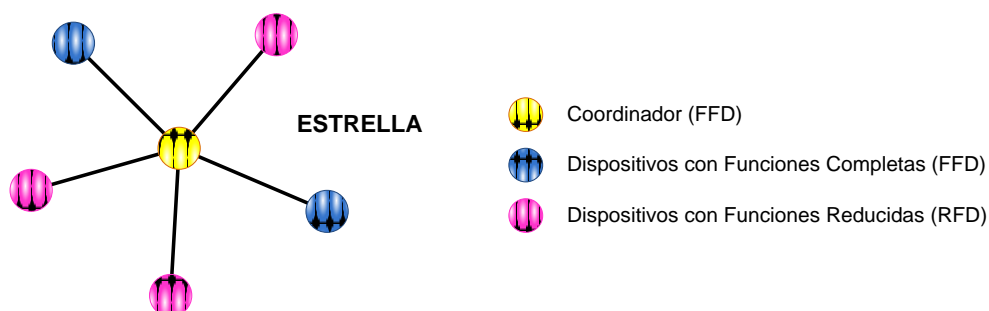


Figura 1.6 Topología Estrella (Fuente Propia)

⁸ Fuente: http://www.stg.com/wireless/ZigBee_Termites.html

1.4.3 TOPOLOGÍA EN ÁRBOL (CLUSTER TREE)

Consiste de un coordinador más una o más configuraciones tipo estrella (Figura 1.7). Los ruteadores ZigBee extienden el rango de la red permitiendo a los dispositivos terminales unirse a ellos para comunicarse con el coordinador central. Los ruteadores se comunican solamente con el coordinador y con los terminales, no entre ellos.

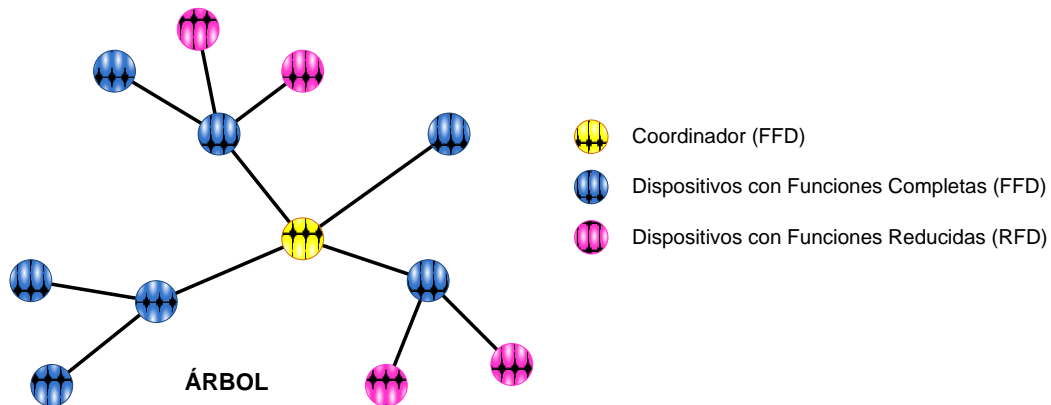


Figura 1.7 Topología Árbol (Fuente Propia)

1.4.4 TOPOLOGÍA DE MALLA (MESH)

Es similar a la topología árbol, con excepción que los FFDs pueden comunicarse directamente. Las ventajas de esta topología son la baja latencia y la alta confiabilidad. A cambio, se requiere mayor memoria de programa y datos en un dispositivo para soportarlo.

Es la topología más interesante y una de las causas por las que parece que puede triunfar ZigBee. Ésta permite que si, en un momento dado, un nodo del camino falla y se cae, pueda seguir la comunicación entre todos los demás nodos debido a que se rehacen todos los caminos. La gestión de los caminos es tarea del coordinador.

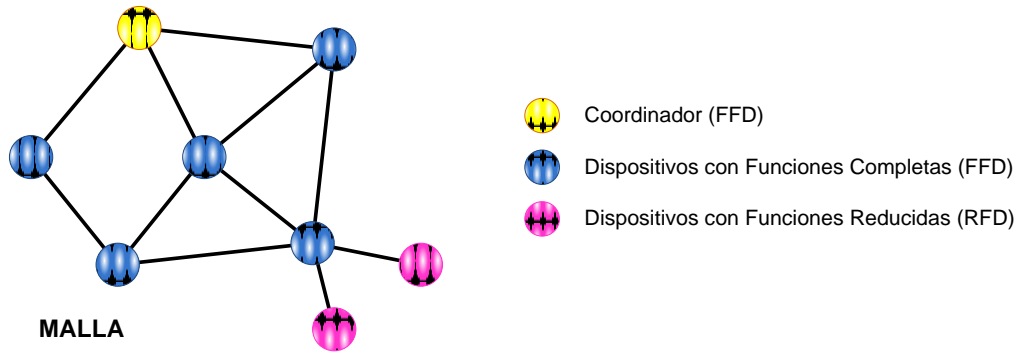


Figura 1.8 Topología Malla (Fuente Propia)

1.5 ESTRATEGIAS DE CONEXIÓN DE LOS DISPOSITIVOS ZIGBEE [1, 4]

Las redes ZigBee han sido diseñadas para conservar la potencia en los nodos “esclavos”. De esta forma se consigue el bajo consumo de potencia. La estrategia consiste en que, durante mucho tiempo, un dispositivo “esclavo” está en modo “dormido”, de tal forma que solo se “despierta” por una fracción de segundo para confirmar que está “vivo” en la red de dispositivos de la que forma parte. Esta transición del modo “dormido” al modo “despierto” (modo en el que realmente transmite), dura unos 15ms, y la confirmación y conteo de cuantos “esclavos” conforman la red dura alrededor de 30ms.

En las redes ZigBee, se pueden usar dos tipos de entornos o sistemas, Figura 1.9:

1.5.1 CON BALIZAS

Las balizas que dan nombre a este tipo de entorno, se usan para poder sincronizar e identificar todos los dispositivos que conforman la red. Los intervalos de las balizas son asignados por el coordinador de red y pueden variar desde los 15ms hasta los 4 minutos.

Los dispositivos que conforman la red, escuchan a dicho coordinador durante el “*balizamiento*”⁹. Un dispositivo que quiera intervenir, lo primero que tendrá que hacer es registrarse para el coordinador, y es entonces cuando mira si hay

⁹ Envío de mensajes a todos los dispositivos (broadcast), entre 0,015 y 252 segundos

mensajes para él; en el caso de que no haya mensajes, este dispositivo vuelve a “dormir”, y se despierta de acuerdo a un horario que ha establecido previamente el coordinador. En cuanto el coordinador termina el balizamiento, vuelve a “dormirse”.



Figura 1.9 Estrategias de conexión ZigBee (Fuente Propia)

1.5.2 SIN BALIZAS

Se usa el acceso múltiple al sistema ZigBee en una red punto a punto cercano. A veces, puede ocurrir que el dispositivo destino puede no oír la petición, o que el canal esté ocupado.

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

alarma correspondiente. En este caso, el coordinador de red se alimenta de la red principal durante todo el tiempo.

1.6 ARQUITECTURA BÁSICA ZIGBEE [7]

La arquitectura ZigBee está basada en el modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos OSI, el cual permite que equipos distintos se interconecten e interoperen, definiendo solamente aquellas capas relevantes para lograr la funcionalidad deseada y garantizar la compatibilidad entre los dispositivos.

El estándar IEEE 802.15.4 versión 2003 define las dos capas base: la física (PHY) y la de control de acceso al medio (MAC). La ZigBee Alliance diseñó sobre ellas, la capa Red (NWK) y la capa Aplicación (APL).

A continuación, se describen las características principales definidas en cada capa del estándar ZigBee.

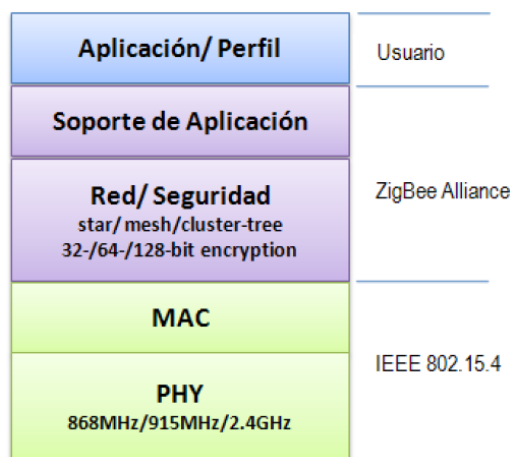


Figura 1.10 Arquitectura Básica ZigBee¹⁰

Como se observa en la Figura 1.10, la pila de software consta de tres capas básicas:

- Capa Física
- Capa de Red
- Capa de Aplicación

¹⁰ Fuente: <http://www.casadomo.com/noticiasDetalle.aspx?id=7123&c=6>

1.6.1 CAPA FÍSICA

La capa de más bajo nivel es la capa física (PHY), que en conjunto con la Capa de Acceso al Medio (MAC), brindan los servicios de transmisión de datos por el aire, punto a punto.

1.6.1.1 Subcapa PHY

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

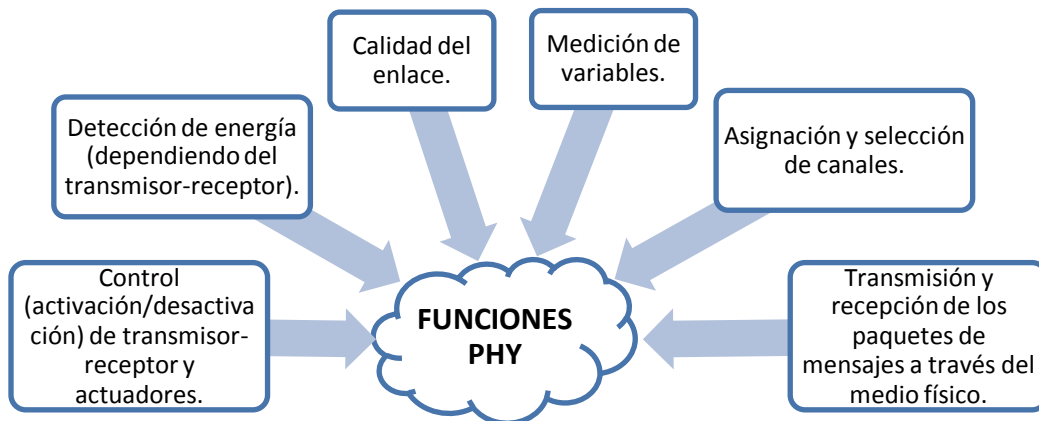


Figura 1.11 Funciones de la Subcapa PHY (Fuente Propia)

1.6.1.2 Subcapa MAC

La subcapa MAC proporciona control de acceso hacia el canal y confiabilidad en la entrega de datos mediante el algoritmo de Acceso Múltiple con un mecanismo que evita las colisiones de datos (CSMA/CA), el cual chequea la disponibilidad del canal antes de transmitir y así evitar colisiones con otros transmisores. Se encarga de diversas funciones como son:

- Generación de tramas de acuse de recibo (acknowledgment frames).
- Asociación/disociación.
- Control de seguridad.

1.6.2 CAPA DE RED

La capa de red (NWK) tiene como objetivo principal permitir el correcto uso de la subcapa MAC y ofrecer una interfaz adecuada para su uso por parte de la capa de aplicación. En la Figura 1.12 se muestran los métodos que ésta capa brinda.



Figura 1.12 Métodos que brinda la Capa de Red (Fuente Propia)

Cuando esta capa se encuentra cumpliendo la función de unir o separar dispositivos a través del controlador de red, implementa seguridad, y encamina tramas a sus respectivos destinos; además, la capa de red del controlador de red es responsable de crear una nueva red y asignar direcciones a los dispositivos de la misma.

Es en esta capa donde se implementan las distintas topologías de red que ZigBee soporta (punto a punto, estrella, árbol y malla).

1.6.3 CAPA DE APLICACIÓN

Contiene las aplicaciones que se ejecutan en el nodo de red. Estos dan al dispositivo su funcionalidad (esencialmente una aplicación convierte la entrada en datos digitales, y/o los datos digitales en salida). Un solo nodo puede ejecutar varias aplicaciones; por ejemplo, un sensor del medio ambiente puede contener aplicaciones distintas para medir la temperatura, humedad y presión atmosférica.

Es en esta capa donde se encuentran los Objetos de Dispositivos ZigBee, ZDO, que se encargan de definir el papel del dispositivo en la red, si el actuará como coordinador, ruteador o dispositivo final; y los objetos de aplicación definidos por cada uno de los fabricantes.

En la Figura 1.13 se muestran las funciones de la capa de **soporte a la aplicación**.

Cada capa se comunica con sus capas subyacentes a través de una *interface de datos* y otra de *control*, las capas superiores solicitan servicios a las capas inferiores, y éstas reportan sus resultados a las superiores.

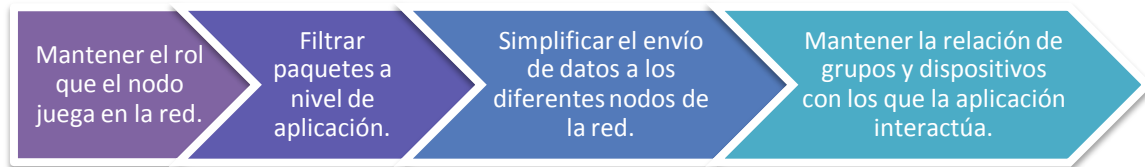


Figura 1.13 Funciones de la capa de Soporte de Aplicación (Fuente Propia)

1.7 TIPOS DE TRAMAS Y FORMATOS [3, 7]

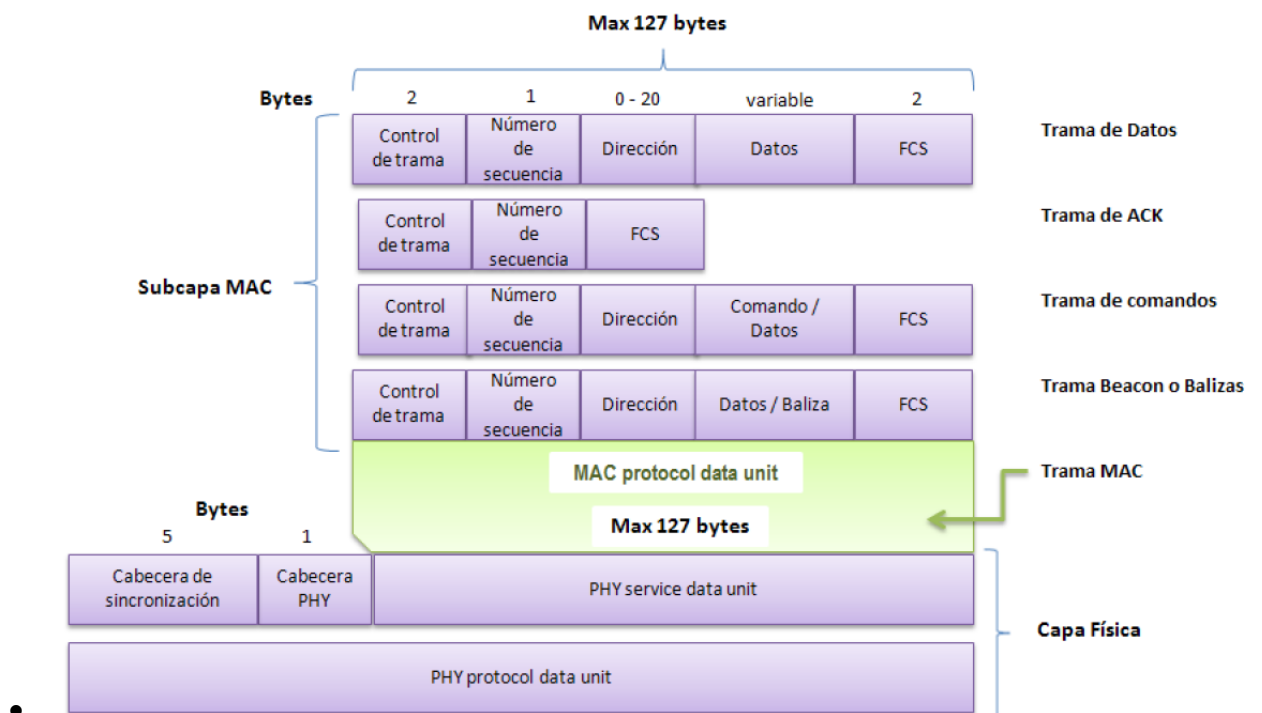


Figura 1.14 Campos de los tipos de tramas ZigBee¹¹

En ZigBee se distinguen cuatro tipos diferentes de tramas básicas. En la Figura 1.14 se muestra los campos de estas tramas:

- Trama de datos
- Trama de ACK
- Trama de comandos y configuración

¹¹ Fuente: <http://www.domotica.net/2716.html>

- Trama baliza
- Trama MAC

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

1.7.1 TRAMA ACK

La trama de acuse de recibo o de reconocimiento es enviada por la subcapa MAC para confirmar la recepción satisfactoria de la trama hacia el origen del mensaje, aquí se realiza una realimentación desde el receptor al emisor, de esta manera se confirma que la trama se ha recibido sin errores.

1.7.2 TRAMA DE COMANDOS Y CONFIGURACIÓN

Se utiliza para el control remoto y la configuración de dispositivos/nodos. Una red centralizada utiliza este tipo de tramas para configurar la red a distancia. Los tipos de comandos se muestran en la Tabla 1.1.

Indicador de comando	Tipo de Comando
1	Solicitud de Asociación
2	Respuesta de Asociación
3	Notificación de Disociación
4	Petición de datos
5	Conflicto en la notificación del Identificador de Red de PAN ID
6	Notificación de huérfano
7	Petición de trama Beacon
8	Realineación del Coordinador
9-255	Reservado

Tabla 1.1 Tipos de Comandos [7]

La carga útil de la MAC (MAC payload) tiene dos campos, el tipo de comando MAC (MAC command type) y el Valor del Comando MAC (MAC command payload). El Valor de Comando MAC contiene información específica del tipo de comando en uso.

1.7.3 TRAMA BALIZA (BEACON)

Se encarga de “despertar” los dispositivos que “escuchan” y luego vuelven a “dormirse” si no reciben nada más. Estas tramas son importantes para mantener todos los dispositivos y los nodos sincronizados, sin tener que gastar una gran cantidad de batería estando todo el tiempo encendidos.

La trama *beacon* es habilitada por los dispositivos de funciones totales para localizar dispositivos ZigBee y unirlos a la red. En una trama *beacon*, el campo de direcciones contiene la fuente del Identificador de Red de Área Personal PAN ID y la fuente de direcciones de dispositivos. El valor MAC de una trama *beacon* está dividido en cuatro campos:

- a) *Especificación de la Supertrama (Superframe Specification)*: contiene los parámetros que especifican la estructura de la supertrama.
- b) *Especificación Pendiente de Direcciones (Pending Address Specification)*: contienen el número y tipo de direcciones especificadas en el campo de lista de direcciones.
- c) *Lista de Direcciones (Address List)*: contiene la lista de direcciones de dispositivos con datos disponibles para el coordinador PAN.
- d) *Carga útil Beacon (Beacon Payload)*: Es un campo opcional que contiene datos para todos los dispositivos participantes en la red (*broadcast*) dentro del rango de cobertura.

El formato de una trama *beacon* se muestra en la Figura 1.14.

Los dispositivos se direccionan empleando 64-bits y un direccionamiento corto opcional de 16 bits. El campo de dirección incluido en MAC puede contener información de direccionamiento de ambos orígenes y destinos (necesarios para operar punto a punto). Este doble direccionamiento es usado para prevenir un fallo dentro de la red.

1.8 TRÁFICO SOPORTADO [6]

ZigBee soporta dos tipos de tráfico de datos que pueden ser utilizados de acuerdo a la aplicación; éstos son: periódico e intermitente como se describe en la Figura 1.15.

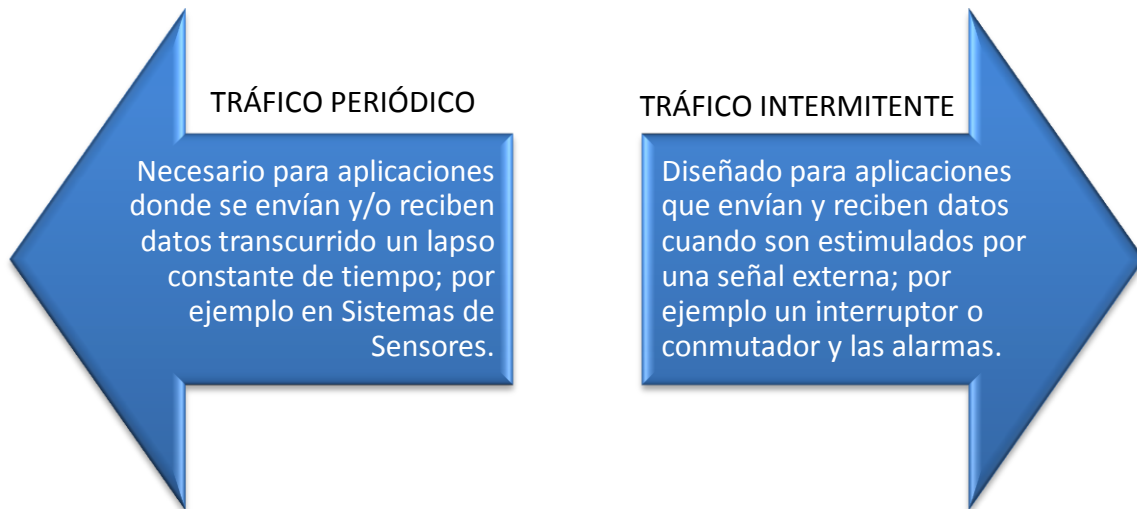


Figura 1.15 Tráfico soportado por ZigBee (Fuente Propia)

1.9 CANALES DE FRECUENCIA [7]

Se disponen de 16 canales según el protocolo IEEE 802.15.4. Este estándar indica que entre cada canal, deben existir 5 MHz de diferencia como lo muestra la Figura 1.16, partiendo de la frecuencia base 2.405 GHz, se llegan hasta los 2.480 GHz.

Se observa que hay 16 canales disponibles, sin embargo, los valores se asignan desde el 11 hasta el 26. Para calcular la frecuencia central se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Canal} = 2.405 + (CH - 11) \times 0.005[\text{GHz}]$$

Donde CH equivale al número del canal entre 11 y 26. La Tabla 1.2 muestra la frecuencia central de cada canal, así como su límite inferior y superior.

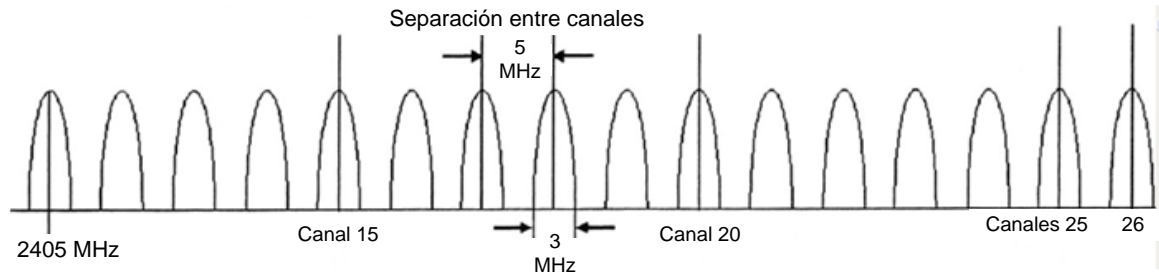


Figura 1.16 Canales disponibles para el protocolo IEEE 802.15.4¹²

La elección del canal debe ser cuidadosa, ya que otras tecnologías como WI-FI o Bluetooth utilizan el mismo espectro de frecuencias, por lo que se podría producir interferencia.

Canal	Inferior [GHz]	Central [GHz]	Superior [GHz]
11	2,4025	2,4050	2,4075
12	2,4075	2,4100	2,4125
13	2,4125	2,4150	2,4175
14	2,4175	2,4200	2,4225
15	2,4225	2,4250	2,4275
16	2,4275	2,4300	2,4325
17	2,4325	2,4350	2,4375
18	2,4375	2,4400	2,4425
19	2,4425	2,4450	2,4475
20	2,4475	2,4500	2,4525
21	2,4525	2,4550	2,4575
22	2,4575	2,4600	2,4625
23	2,4625	2,4650	2,4675
24	2,4675	2,4700	2,4725
25	2,4725	2,4750	2,4775
26	2,4775	2,4800	2,4825
Frecuencia Base 2,405 GHz			

Tabla 1.2 Frecuencia de Canales protocolo IEEE 802.15.4¹²

¹² Fuente: [2], Guía de Usuario del módulo XBee. Pág. 26

1.10 ÁREAS DE APLICACIÓN [4, 8]

Las soluciones sobre el estándar ZigBee, en conexión de redes, se centran en mercados y aplicaciones específicas. El estándar ZigBee se ha hecho a medida para la monitorización y para aplicaciones de control. Por lo tanto, los mercados como la automatización de edificios y hogares, la atención sanitaria, control industrial, control de alumbrado y control comercial, son los principales campos de aplicación. El estándar ZigBee ha sido diseñado para satisfacer las necesidades de este tipo de mercado. Los circuitos integrados para el diseño en ZigBee buscan ser económicos, sencillos y además brindar escalabilidad con el fin de facilitar la comercialización de productos a gran escala.

Al usar esta tecnología no se tiene problemas en la instalación del cableado debido a que es una tecnología inalámbrica (por ejemplo en los interruptores), teniendo la facilidad de cambiarlos de lugar sin problema alguno.



Figura 1.17 Campos de Aplicación ZigBee¹³

¹³ Fuente: <http://www.sg.com.mx/content/view/392>

Otra de las aplicaciones que ha tomado fuerza, es la de los sistemas de medición avanzada, medidores de agua, luz y gas que forman parte de una red con otros dispositivos como displays ubicados dentro de las casas, que pueden monitorear el consumo de energía, también pueden interactuar con electrodomésticos o cualquier otro sistema eléctrico como bombas de agua o calefacción, con la finalidad de aprovechar mejor la energía. Este tipo de escenarios se encuentran al alcance de la tecnología actual. Las anteriores son sólo algunas de las múltiples aplicaciones que se le pueden dar a las redes en cuestión.

1.11 COMPARACIÓN CON OTROS ESTÁNDARES DE REDES PERSONALES (PAN)

En el mercado existen varias tecnologías inalámbricas de red de área personal (PAN); a continuación se realiza una comparación con dos tecnologías de red muy populares hoy en día, Bluetooth y Wi-Fi.

1.11.1 WI-FI

El término viene de **Wireless Fidelity**, se basa en el estándar IEEE 802.11, fue creada para acceder a redes locales inalámbricas siendo en la actualidad la tecnología más empleada en el acceso inalámbrico a internet, esto se debe principalmente a su velocidad y alcance especificados en la Tabla 1.3.

Opera en bandas no licenciadas de 2,4 GHz

1.11.2 BLUETOOTH

Es el nombre común del estándar IEEE 802.15.1, que define una especificación global de comunicación inalámbrica que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura y sin licencia de corto rango.

La tecnología Bluetooth se diseña para sustituir los cables entre los teléfonos móviles, ordenadores portátiles, y otros dispositivos informáticos y de comunicación dentro de un radio de 10 metros (Figura 1.18).

Hay muchas alternativas inalámbricas asequibles a los diseñadores; comparando ZigBee con algunos de los estándares más populares que comparten la banda de 2.4 GHz sin licencia. Los parámetros mostrados en la Tabla 1.3 incluyen el estándar que debe seguirse a nivel de la capa dos (es decir el formato de la trama), la máxima velocidad de transmisión, el consumo de corriente típica en transmisión y en “standby”, aplicaciones y opciones de conexión de la red entre otras características.



Figura 1.18 Aplicaciones de Bluetooth¹⁴

1.11.3 ZIGBEE VS. BLUETOOTH

“ZigBee es muy similar al Bluetooth pero con algunas diferencias:

- Una red ZigBee puede constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos, frente a los 8 máximos de una subred Bluetooth.
- Menor consumo eléctrico que el de Bluetooth. En términos exactos, ZigBee tiene un consumo de 30mA transmitiendo y de 3uA en reposo, frente a los

¹⁴ Fuente: <http://tecnio.com/%C2%BFque-es-bluetooth/>

40mA transmitiendo y 0.2mA en reposo que tiene el Bluetooth. Este menor consumo se debe a que el sistema ZigBee se queda la mayor parte del tiempo dormido, mientras que en una comunicación Bluetooth esto no se puede dar, y siempre se está transmitiendo y/o recibiendo.




TECNOLOGÍA			
Nombre	WI-FI	BLUETOOTH	ZIGBEE
Estándar IEEE	802.11	802.15.1	802.15.4
Alcance	50 - 100 m.	10 - 100 m.	100 - 1000 m.
Velocidad de Transmisión	Hasta 54 Mbps.	1 Mbps.	250 Kbps.
Tasa de Transmisión	2 - 11 Mb/s	1 Mb/s	≤ 0,25 Mb/s
Consumo de Corriente	Tx: > 400 mA. Standby: 20 mA.	Tx: > 40 mA. Standby: 0,2 mA.	Tx: > 30 mA. Standby: 3 uA.
Latencia	3 ms.	10 ms.	30 ms.
Complejidad	Muy Complejo	Complejo	Simple
Costo	Elevado	Medio	Bajo
Seguridad	Servicio de Autenticación por ID (SSID)	64 bit, 128 bit	128 bit AES
Topología	Punto a multipunto	Punto a multipunto	Punto a punto, estrella, árbol, malla
Aplicaciones	Navegación por internet, redes de computadores, transferencia de ficheros	Wireless USB, móviles, informática casera	Control remoto, productos independientes de batería, sensores, juguetería
Ventajas	Gran Ancho de Banda	Interoperabilidad	Larga duración

Tabla 1.3 Comparación de ZigBee con otras tecnologías inalámbricas (Fuente Propia)

- Tiene una velocidad de hasta 250 kbps, mientras que en Bluetooth es de hasta 1 Mbps.
- Debido a las velocidades de cada uno, uno es más apropiado que el otro para ciertas cosas. Por ejemplo, mientras que el Bluetooth se usa para aplicaciones como los teléfonos móviles y la informática casera, la velocidad del ZigBee se hace insuficiente para estas tareas, desviándolo a usos tales como la domótica, productos dependientes de la batería, sensores médicos, y en artículos de juguetería, en los cuales la transferencia de datos es menor.”¹⁵

En conclusión; ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi no serán competidores debido a las diferentes áreas de aplicación a las que están orientados y a sus características; sino que serán sistemas complementarios, donde al trabajar en conjunto cada estándar podrá aprovechar las funcionalidades del otro.

¹⁵ Tomado de: http://es.wikipedia.org/wiki/ZigBee#ZigBee_vs._Bluetooth

CAPÍTULO II

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

En este capítulo se tratará todo lo relacionado al diseño y construcción del hardware y software del prototipo; mismo que está formado por tres módulos: usuario, nodo y máster, el diseño de cada uno se tratará independientemente pero con las consideraciones necesarias para que su funcionamiento sea conjunto.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

El proyecto se centra en el diseño y construcción de un prototipo electrónico compuesto de Hardware y Software para realizar el control de tiempo del recorrido de las unidades de la Cooperativa de Transportes “Otavalo” en la ruta Otavalo - Ibarra; en adelante se utilizarán las siglas PCT (Prototipo de Control de Tiempo).

El PCT deberá cumplir los siguientes requerimientos:

- Registrar el tiempo de cada unidad automáticamente.
- Descargar la información inalámbricamente.
- Garantizar la disponibilidad del servicio en condiciones adversas.
- Avalar que la información no sea manipulada por personal no autorizado.

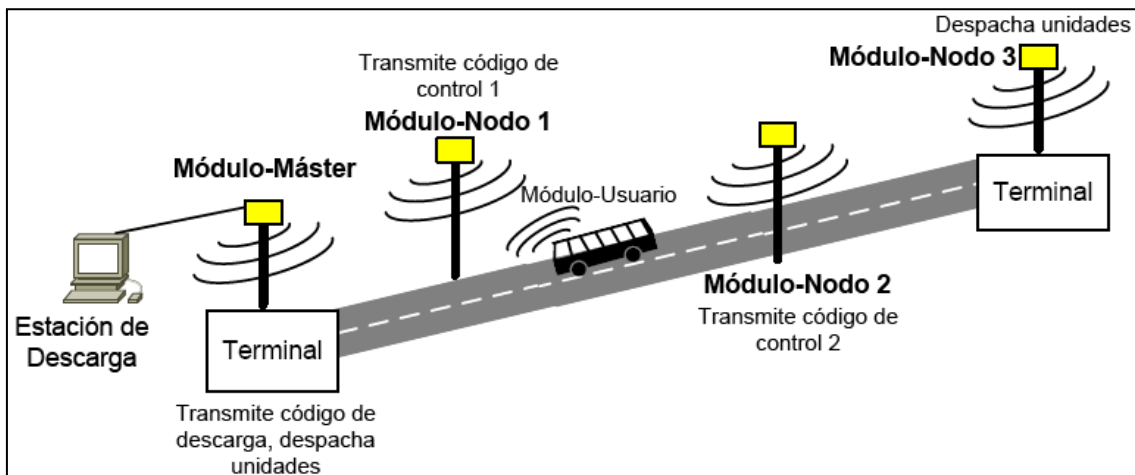


Figura 2.1 Esquema general del PCT

El esquema general del PCT se muestra en la Figura 2.1; está formado por tres tipos de módulos: usuario, nodo y máster.

- *Módulo-Usuario*: éste es móvil ya que se encuentra en cada unidad de transporte. Posee una memoria externa en la que se almacena el tiempo

en que la unidad pasó por el punto de control permitiendo al conductor visualizar en una pantalla gráfica la fecha y hora actual y el tiempo aproximado en que deberá estar en el siguiente punto de control. Éste módulo también deberá descargar sus datos inalámbricamente al final de cada recorrido y cargar la ruta para el siguiente día de labores de acuerdo a una tabla que maneja la Cooperativa de Transportes “Otavalo”.

- *Módulo-Nodo:* se encuentran ubicados de manera fija en lugares estratégicos, a lo largo del recorrido Otavalo - Ibarra, en los que la Cooperativa de Transportes “Otavalo” ha creído conveniente realizar un control de tiempo. Estos módulos envían periódicamente códigos que permiten conocer al módulo-usuario el lugar donde se encuentran y almacenar el tiempo en que la unidad pasó por ese punto de control. En la Figura 2.2 se puede apreciar la ubicación geográfica real de éstos módulos.
- *Módulo-Máster:* existe uno solo, es fijo y es el encargado de recolectar la información entregada por los módulos-usuario para enviarla a una Base de Datos en la que posteriormente será procesada. También deberá cargar las rutas en las unidades al final de cada jornada de acuerdo a la tabla que maneja la empresa.

2.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL HARDWARE

- **El enlace Inalámbrico:** se lo implementará mediante el uso de los módulos de RF¹⁶ XBee fabricados por MaxStream, los cuales están desarrollados en base al estándar IEEE 802.15.4 estudiado en el Capítulo I. El alcance del enlace de RF es pequeño, éstos módulos brindan una distancia teórica de 100 metros en lugares abiertos, lo cual es suficiente para el correcto funcionamiento del PCT. Éste enlace inalámbrico se lo

¹⁶ RF = Radiofrecuencia

emplea en la comunicación entre el módulo usuario y los módulos fijos y máster.



Figura 2.2 Ubicación Real de los Puntos de control

- **Los tipos de protocolos de comunicación:** se establecerá comunicación USB CDC que es la emulación de un puerto COM serie estándar sobre el puerto USB que se empleará en la comunicación entre el módulo máster y la computadora (Figura 2.3); y comunicación serial en los modos sincrónico (I2C) y asincrónico (USART); la primera (I2C) se la emplea entre el microcontrolador con la memoria externa y el reloj de tiempo real; mientras que la segunda (USART) se la ocupa entre el microcontrolador y los módulos ZigBee de Tx/Rx¹⁷ como se lo aprecia en la Figura 2.4.
- **El uso:** el sistema permite únicamente la manipulación por parte de personal calificado mediante la automatización de los procesos de recolección y entrega de información.
- **El ambiente:** el prototipo debe operar bajo condiciones no óptimas (polvo, calor, vibraciones, humedad) por esto cada módulo debe estar aislado

¹⁷ Tx/Rx = Transmisión/Recepción

dentro de una caja para evitar la entrada de cualquier material que pueda dañar los dispositivos electrónicos.

2.3 DISEÑO DEL HARDWARE

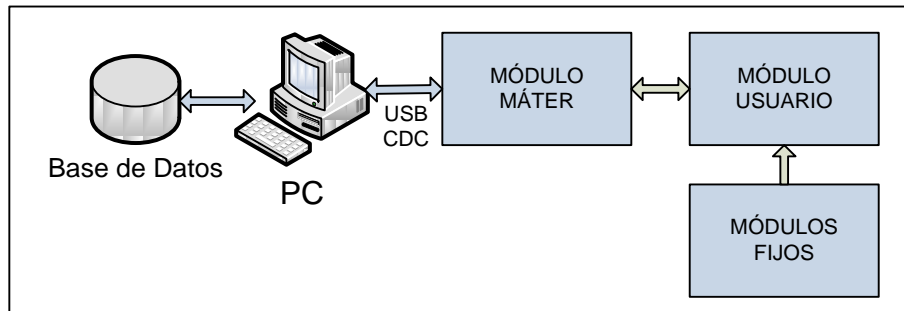


Figura 2.3 Diagrama General del PCT.

2.3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES MÓDULO-USUARIO

Este módulo consta de los siguientes componentes: módulo de RF Tx/Rx (ZigBee), reloj calendario, memoria serial, pantalla gráfica LCD, el microcontrolador con toda la circuitería adicional para su funcionamiento y la fuente de alimentación.

La Figura 2.4 muestra un gráfico del diagrama de bloques del módulo-usuario del PCT.

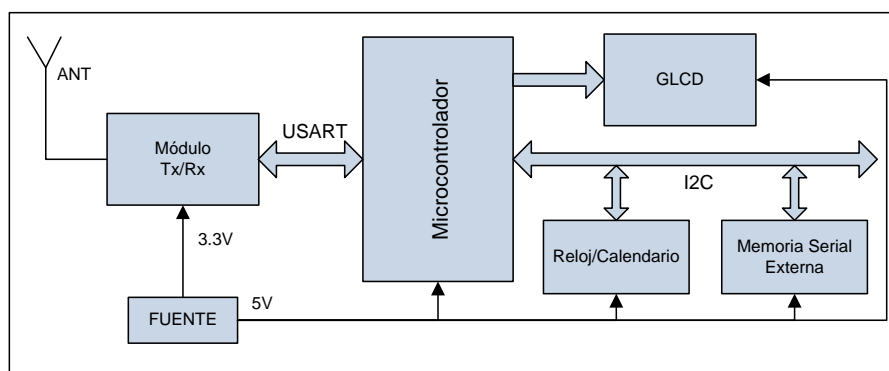


Figura 2.4 Diagrama de Bloques Módulo-Usuario

2.3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES MÓDULO-NODO

Este módulo consta de un circuito de RF (ZigBee), el microcontrolador y una fuente de alimentación con un sistema de batería de respaldo en caso de que se corte el suministro regular de energía eléctrica.

La Figura 2.5 muestra un gráfico del diagrama de bloques del módulo-nodo del PCT.

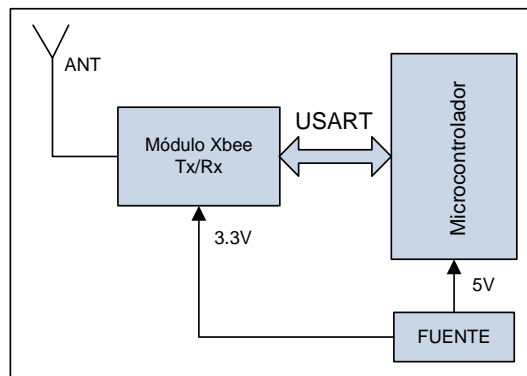


Figura 2.5 Diagrama de Bloques Módulo-Nodo

2.3.3 DIAGRAMA DE BLOQUES MÓDULO-MÁSTER

El módulo máster, como se observa en la Figura 2.6 está conformado por el circuito de radiofrecuencia (ZigBee) y el microcontrolador con una interfaz USB para la comunicación hacia la PC, no se prevé una fuente de alimentación de emergencia ya que el módulo usuario guardará un respaldo de la información en la memoria serial externa en caso de que la estación de descarga no se encuentre activa.

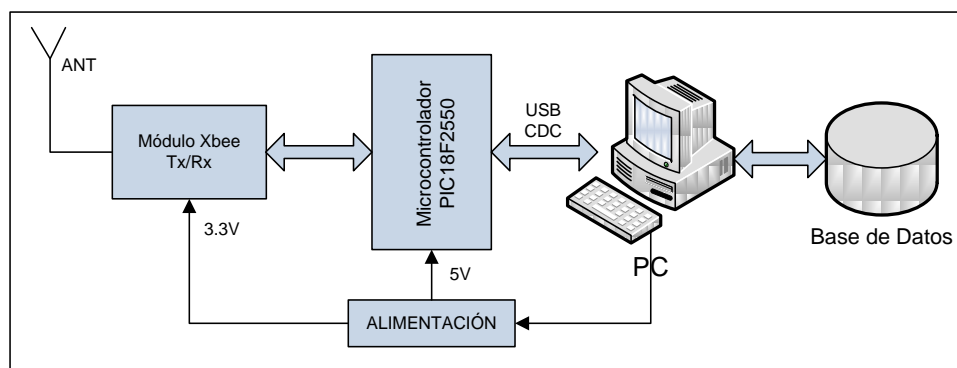


Figura 2.6 Diagrama de Bloques Módulo-Máster

2.3.4 COMPONENTES ELECTRÓNICOS

2.3.4.1 *Microcontrolador* [10]

Se denomina microcontrolador a un dispositivo programable capaz de realizar diferentes actividades que requieran del procesamiento de datos y del control y comunicación de diferentes dispositivos; por lo que cumple la función más importante dentro del módulo que es recibir todas las tramas mediante el módulo de Tx/Rx ZigBee y procesarlas de acuerdo a las instrucciones dadas; es decir, comanda todas las funciones del módulo.

Los microcontroladores elegidos son los PIC18F4550 y PIC18F2550 de Microchip, el primero se lo emplea en el módulo usuario; mientras que el segundo en los módulos fijos y máster; ya que cuentan con un módulo de comunicación USB y dos módulos para establecer la comunicación serial, que son:

- USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter), para establecer la comunicación serial asincrónica entre: el microcontrolador y los módulos ZigBee.
- MSSP (Master Synchronous Serial Port), para que el Reloj de Tiempo Real y la memoria serial puedan interactuar con el microcontrolador estableciendo comunicación serial sincrónica (bus I2C).

2.3.4.1.1 *PIC 18F4550 y 18F2550*

“Los PIC son una familia de microcontroladores tipo RISC (del inglés *Reduced Instruction Set Computer*), Computadora con Conjunto de Instrucciones Reducidas, fabricados por Microchip Technology Inc., originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument.

El nombre actual no es un acrónimo. En realidad, el nombre completo es PICmicro, aunque generalmente se utiliza como *Peripheral Interface Controller* (controlador de interfaz periférico).”¹⁸

¹⁸ Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador_PIC

2.3.4.1.2 Características Generales

En la Tabla 2.1 se resumen las características más relevantes de éstos:

PIC	18F4550	18F2550
CARACTERÍSTICA		
No. de pines encapsulamiento PDIP	40	28
Puertos de Entrada/Salida	A, B, C, D, E	A, B, C
No. Entradas/Salidas	35	24
Memoria Flash	32Kbytes	
Máximo número de instrucciones simples	16384	
Memoria SRAM	2048 bytes	
Memoria EEPROM	256 bytes	
Comunicación SPI, I2C	SI	
Compatible con USB V2.0	SI	
Número de temporizadores de 8 bits	1	
Número de temporizadores de 16 bits	3	

Tabla 2.1 Características PIC 18F4550 - 18F2550¹⁹

Además, la familia 18F de Microchip es la de microcontroladores de alto rendimiento, con los que, además de manejar la comunicación USB, se maneja diferentes modos de administrar la energía (modo run, idle, sleep); presenta también una estructura de osciladores flexible con alta precisión para la comunicación USB.

Soporta hasta 100.000 ciclos de Escritura/Borrado de la memoria Flash de programa, y 1.000.000 de ciclos de Escritura/Borrado para la memoria EEPROM con una retención de datos mayor a 40 años.

2.3.4.1.3 Distribución de pines

Como se observa en la Figura 2.7 y Figura 2.8, cada pin del microcontrolador tiene funciones principales y alternas que se las configura al inicio del programa según como se necesite.

¹⁹ Fuente: [10] Hoja de datos PIC18F2455/2550/4455/4550. Pág. 1

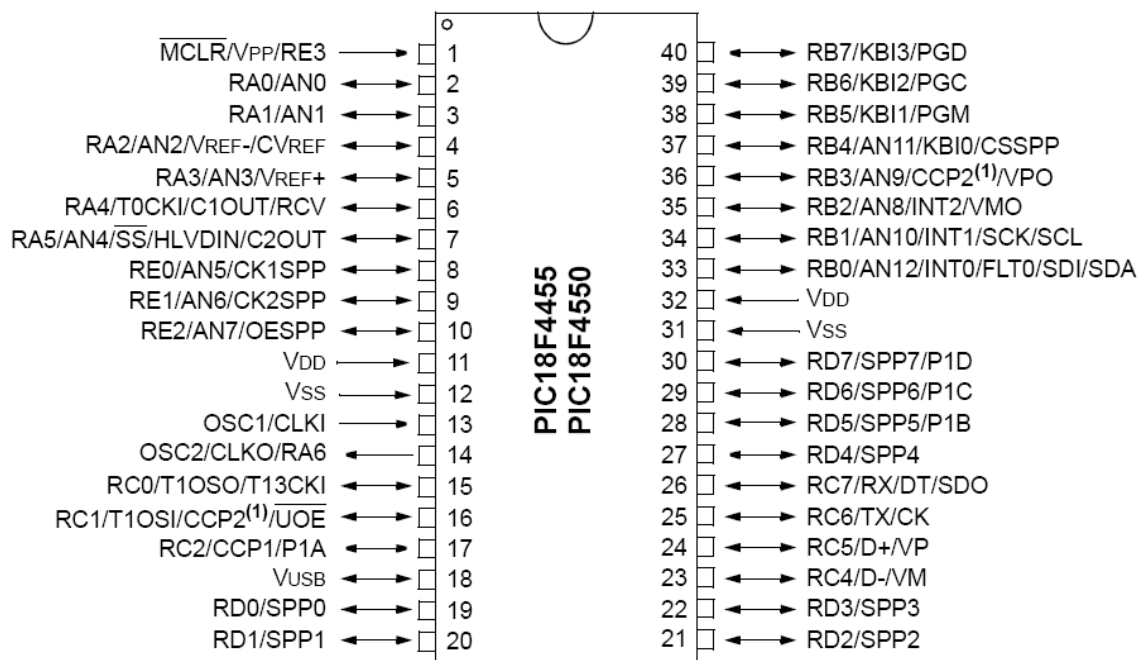


Figura 2.7 Distribución de pines PIC 18F4550 ²⁰

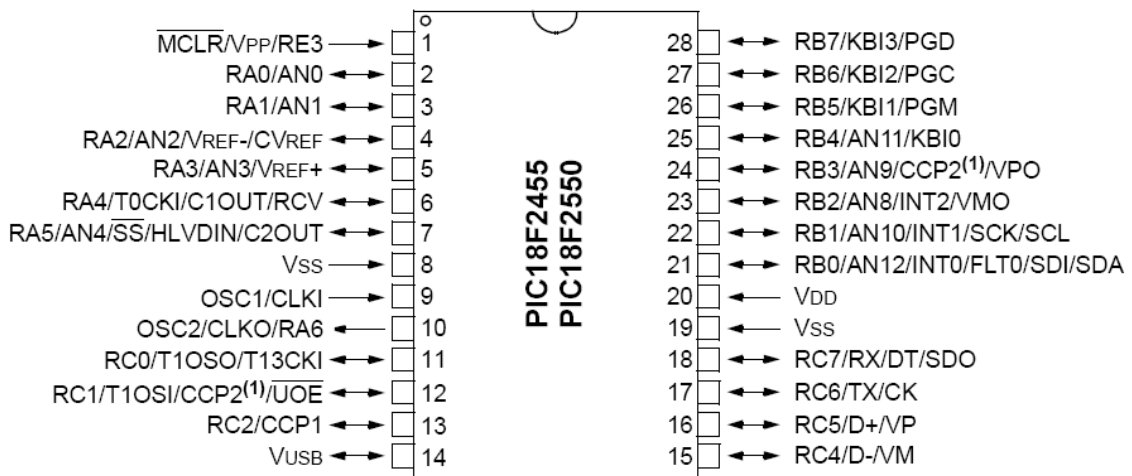


Figura 2.8 Distribución de pines PIC 18F2550 ²⁰

En las siguientes tablas se presenta los pines del microcontrolador que se emplean en el Módulo-Usuario, Nodo y Máster respectivamente:

²⁰ Fuente: [10] Hoja de datos PIC18F2455/2550/4455/4550. Pág. 2

N° PIN	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	V _{PP}	Entrada de voltaje de programación.
11	V _{DD}	Voltaje de alimentación (positivo)
12	V _{SS}	Voltaje de alimentación (tierra)
13	OSC1	Oscilador de cristal (entrada)
14	OSC2	Oscilador de cristal (salida)
15	RC0	E/S digital (resetea a la GLCD)
19	RD0	E/S digital (Bus de datos "DB0" GLCD)
20	RD1	E/S digital (Bus de datos "DB1" GLCD)
21	RD2	E/S digital (Bus de datos "DB2" GLCD)
22	RD3	E/S digital (Bus de datos "DB3" GLCD)
25	Tx	Transmisor asincrónico (Pin de entrada de datos del módulo XBee)
26	Rx	Receptor asincrónico (Pin de salida de datos del módulo XBee)
27	RD4	E/S digital (Bus de datos "DB4" GLCD)
28	RD5	E/S digital (Bus de datos "DB5" GLCD)
29	RD6	E/S digital (Bus de datos "DB6" GLCD)
30	RD7	E/S digital (Bus de datos "DB7" GLCD)
31	V _{SS}	Voltaje de alimentación (tierra)
32	V _{DD}	Voltaje de alimentación (positivo)
33	RB0	E/S digital (Selector de canal 1 "CS1" de la GLCD)
34	RB1	E/S digital (Selector de canal 2 "CS2" de la GLCD)
35	RB2	E/S digital ("D/I" de la GLCD)
37	RB4	E/S digital (Selector de lectura/escritura "R/W" de la GLCD)
38	RB5	E/S digital (Habilitador "E" de la GLCD)
39	SCL/PGC	Reloj en la comunicación I2C/Pin de Reloj para programación
40	SDA/PGD	Datos de "E/S" en la comunicación I2C/Pin de Datos para programación

Tabla 2.2 Uso de los pines PIC18F4550 - Módulo Usuario ²¹

²¹ Fuente: [10] Hoja de datos PIC18F2455/2550/4455/4550. Págs. 16-21

N° PIN	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	V _{PP}	Entrada de voltaje de programación.
8	V _{SS}	Voltaje de alimentación (tierra)
9	OSC1	Oscilador de cristal (entrada)
10	OSC2	Oscilador de cristal (salida)
17	Tx	Transmisor asincrónico (Pin de entrada de datos del módulo XBee)
18	Rx	Receptor asincrónico (Pin de salida de datos del módulo XBee)
20	V _{DD}	Voltaje de alimentación (positivo)
27	PGC	Pin de Reloj para programación
28	PGD	Pin de Datos para programación

Tabla 2.3 Uso de los pines PIC18F2550 - Módulo Nodo ²²

N° PIN	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	V _{PP}	Entrada de voltaje de programación.
8	V _{SS}	Voltaje de alimentación (tierra)
9	OSC1	Oscilador de cristal (entrada)
10	OSC2	Oscilador de cristal (salida)
14	V _{USB}	Regulador interno de voltaje para USB (3.3V)
15	D-	Voltaje diferencial negativo para USB
16	D+	Voltaje diferencial positivo para USB
17	Tx	Transmisor asincrónico (Pin de entrada de datos del XBee)
18	Rx	Receptor asincrónico (Pin de salida de datos del XBee)
20	V _{DD}	Voltaje de alimentación (positivo)
27	PGC	Pin de Reloj para programación
28	PGD	Pin de Datos para programación

Tabla 2.4 Uso de los pines PIC18F2550 - Módulo Máster ²²

²² Fuente: [10] Hoja de datos PIC18F2455/2550/4455/4550. Págs. 12-15

2.3.4.1.4 Características Eléctricas

PARÁMETROS	VALORES
Temperatura ambiente de trabajo	-40°C a +85°C
Temperatura de almacenamiento	-65°C a +150°C
V _{DD}	4.2V a 5.5V
Corriente de entrada/salida a un pin	± 20 mA
Corriente máx. de salida algún pin	25 mA
Corriente máx. de salida de todos los puertos	200 mA

Tabla 2.5 Características Eléctricas PIC 18F4550 - 18F2550²³

2.3.4.1.5 Manejo de Interrupciones²⁴

Una de las características más importante de los microcontroladores es que tienen la posibilidad de manejar interrupciones.

Una interrupción es un salto asincrónico en función a eventos que se realizan en tiempo real en el microprocesador; éste salto que hace que el microcontrolador deje de lado lo que se encuentra realizando y atienda ese suceso hasta encontrarse con la instrucción que le hará abandonar la interrupción y volver al lugar donde se encontraba antes de producirse dicha interrupción.

Los microcontroladores 18F4550/2550 tienen múltiples fuentes de interrupción y niveles de prioridad que cada interrupción puede asignar un nivel alto o bajo de ejecución. Hay 10 registros y cada uno es usado para el control de una operación de interrupción. Estos registros son:

- RCON: Contiene bits de banderas que son usadas para determinar la causa del último reinicio o levantamiento de los modos "Idle o Sleep"²⁵.
- INTCON, INTCON2, INTCON3: Son registros de lectura y escritura que contienen varias activaciones, prioridades y bits de banderas.

²³ Fuente: [10] Hoja de datos PIC18F2455/2550/4455/4550. Sección 28.0 Electrical Characteristics Pág. 361

²⁴ Fuente: [10] Hoja de datos PIC18F2455/2550/4455/4550. Sección 9.0 Interrupts Pág. 97

²⁵ Idle y Sleep son modos de operación con bajo consumo de energía en los microcontroladores.

- PIR1, PIR2: Contienen bits de banderas individuales para las interrupciones de periféricos.
- PIE1, PIE2: Contiene bits de activación individuales para las interrupciones de periféricos.
- IPR1, IPR2: Contiene bits de prioridad individuales para las interrupciones de periféricos.

Cada fuente de interrupción tiene 3 bits para controlar ésta operación. Las funciones de esos bits son:

- Bit de bandera para indicar que ha ocurrido un evento de interrupción.
- Bit de habilitación que permite la ejecución del programa en la dirección del vector de interrupción cuando el bit de bandera se establece.
- Bit de prioridad para seleccionar alta o baja prioridad en la interrupción.

Para que se pueda producir una interrupción hay que habilitar las interrupciones globalmente y la interrupción en concreto que queremos utilizar.

El registro que contiene las banderas de interrupción se denomina INTCON (Figura 2.9); por ejemplo; si el bit 7 GIE (Global Interrupt Enable) se coloca en 0, inhabilita todas las interrupciones.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-x
GIE/GIEH	PEIE/GIEL	TMR0IE	INT0IE	RBIE	TMR0IF	INT0IF	RBIF ⁽¹⁾
bit 7							bit 0

Figura 2.9 INTCON: Interrupt Control Register²⁶

Hay dos tipos de interrupciones posibles, una es mediante una acción *externa* (es decir por la activación de uno de sus pines), la otra es *interna* (por ejemplo cuando ocurre el desbordamiento de uno de sus registros).

El fragmento de código en el cual se programa la interrupción se lo conoce como **ISR**²⁷. El Tiempo de Procesamiento de la ISR debe ser lo más breve posible, para

²⁶ Fuente: [10] Hoja de datos PIC18F2455/2550/4455/4550. Sección 9.0 Interrupts. Pág. 99

²⁷ Rutina de Servicio de Interrupción

dar lugar a que se ejecuten las otras interrupciones, ya que se pueden haber habilitado más de una de ellas.

El PCT manejará dos tipos de interrupciones que se describen a continuación.

2.3.4.1.6 Interrupción por desbordamiento del registro *TIMER0*²⁸

El *TIMER0* es un temporizador/contador ascendente de 8 bits, cuando trabaja con el reloj del PIC se le suele llamar temporizador y cuando los pulsos los recibe de una fuente externa se le llama contador.

TMR0: es un registro del que podemos leer el valor del contador en tiempo real, pero también podemos escribir en él y alterar el valor de conteo.

El *prescaler* es un divisor de pulsos que está a la entrada del Timer. El prescaler divide el número de pulsos que le entran al Timer. El factor de división puede ser de 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:64, 1:128 ó 1:256.

La siguiente fórmula sirve para calcular el valor a poner en el *TIMER0* configurado a 8 bits:

$$Interrupt_{TMR0}[s] = 4 \times \frac{1}{f_{osc}[Hz]} \times (256 - Valor_{TMR0}) \times Prescaler$$

Ésta interrupción es empleada en el módulo nodo para emitir un código periódicamente que será interpretado por el módulo usuario como el nombre de un lugar donde se encuentre un punto de control.

2.3.4.1.7 Interrupción por recepción de un carácter por la interface serie asincrónica

Ésta interrupción se activa cada vez que el microcontrolador recibe un carácter por la interfaz serie asincrónica y es empleada en el módulo usuario y máster ya que la comunicación entre el microcontrolador y el módulo ZigBee es de tipo USART; de ésta manera nos aseguramos de que la información que se recibe inalámbricamente mediante los módulos ZigBee es prioritaria en el microcontrolador.

²⁸ Fuente: [10] Hoja de datos PIC18F2455/2550/4455/4550 Sección 11.0 Timer0 Module. Pág. 125

2.3.4.2 Módulo XBee [2]



Figura 2.10 Módulo XBee de MaxStream²⁹

El módulo transceptor ó transceiver de radiofrecuencia empleado en el PCT es el XBee fabricados por MaxStream mostrado en la Figura 2.10, el cual trabaja en la banda de 2.4 GHz con protocolo de comunicación 802.15.4 ó Zigbee.

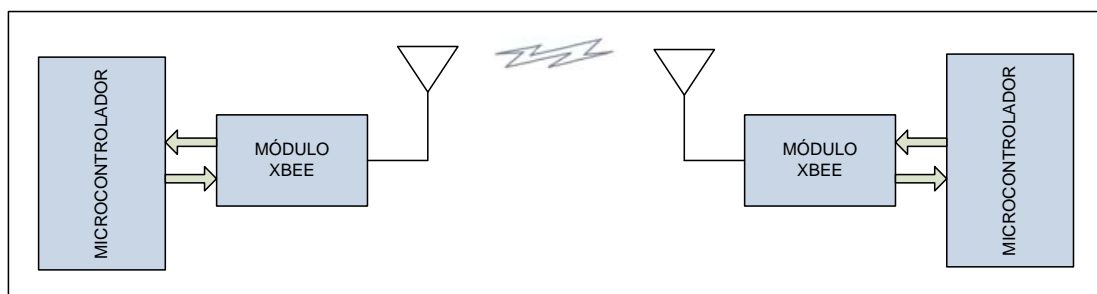


Figura 2.11 Diagrama de bloques, conexión módulos XBee

El módulo XBee se conecta directamente a los pines Rx y Tx del microcontrolador (Figura 2.11), e inmediatamente busca más dispositivos que se encuentren en su misma red para asociarse a ellos; el tiempo que tarda en realizar el proceso de asociación va entre 8 a 10 segundos.

Éste módulo XBee es el medio de comunicación inalámbrico entre los módulos fijos y máster hacia el de usuario.

Los módulos XBee pueden ser programados a través del hyperterminal y una interface serial con un MAX232 y una serie de comandos llamados AT.

El MAX232 es un circuito integrado que convierte los niveles de voltaje TTL al estándar RS232 y viceversa para la comunicación serie entre los puertos COM de

²⁹ Fuente: [2] Guía de Usuario del módulo XBee. Pág. 2.

un computador y un microcontrolador o cualquier otro circuito con funcionamiento en base a señales de nivel TTL/CMOS.

Existen dos tipos de interfaces, serial y USB, que pueden ser utilizadas para programar los módulos XBee con un software propietario llamado X-CTU. Con este software se puede definir de una forma rápida todos los parámetros que se quiera modificar en los módulos.

Una de las ventajas es que se puede tener hasta 65000 combinaciones distintas de red y se pueden hacer redes punto a punto y punto a multipunto.

Los módulos tienen 6 convertidores análogo-digital y 8 entradas digitales además pines de Rx y Tx.

El módulo XBee fue escogido principalmente porque requiere un reducido número de componentes externos para su correcto funcionamiento; además de utilizar un software libre para su configuración.

En el Anexo 1 se encuentra el datasheet del módulo XBee donde se puede observar con mayor detalle las características eléctricas y físicas del mismo.

Cabe destacar su bajo consumo eléctrico; al transmitir datos emplea 45mA y en la recepción 50mA con su voltaje de operación típico de 3.3V.

Los módulos XBee serán configurados para operar en el modo API (Application Programming Interface) ya que las tramas basadas en API extienden el nivel para que una aplicación host pueda interactuar con todas las capacidades de red del módulo.

Cuando el XBee está en modo de API, todos los datos que entran y salen del módulo se encuentran en tramas que definen las operaciones o eventos dentro del módulo.

La opción de operación API facilita muchos procedimientos, tales como:

- Transmisión de datos a múltiples destinos, sin entrar a un modo de comandos que harían lenta la comunicación en la red.
- Recibe estados de éxito/fracaso de cada paquete transmitido.

- Identifica la dirección de origen de cada paquete recibido.

Al enviarse una trama de datos por el microcontrolador, ésta ingresa al buffer de datos de entrada (DI) como se aprecia en la Figura 2.12; luego pasar al buffer de transmisión de radiofrecuencia (RF TX) siempre y cuando éste se encuentre vacío, caso contrario, esperará su turno para ser procesado y pasar al Transmisor el cual colocará la antena en la posición adecuada para finalmente enviar la trama hacia el destino señalado.

El mismo proceso se repite en sentido inverso en caso de recepción de datos; la trama es procesada únicamente si va dirigida hacia él.

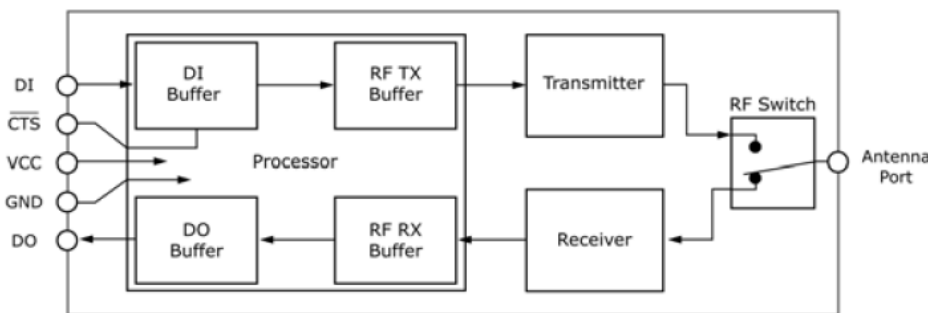


Figura 2.12 Diagrama Interno de Flujo de datos³⁰

2.3.4.3 PANTALLA GRÁFICA DE CRISTAL LÍQUIDO (GLCD)

Se usará una pantalla gráfica de cristal líquido ó GLCD de 128 x 64 puntos CM12864-2, la cual, en lugar de representar caracteres, como las populares pantallas de dos filas de 16 caracteres, pueden mostrar directamente puntos sueltos.

Esto las hace especiales para la representación de gráficos, aunque por supuesto, con un programa adecuado, puede mostrar texto, incluso con diferentes fuentes y tamaños, lo que la hace ideal para el Módulo-Usuario, ya que como se muestra en la Figura 2.14 podemos representar en la pantalla todos los datos que el conductor necesita saber al momento de entrar en operación con su unidad.

³⁰ Fuente: [11] Manual XBee, Pág. 12

En la Figura 2.13 se encuentra el diagrama de bloques de la pantalla gráfica.

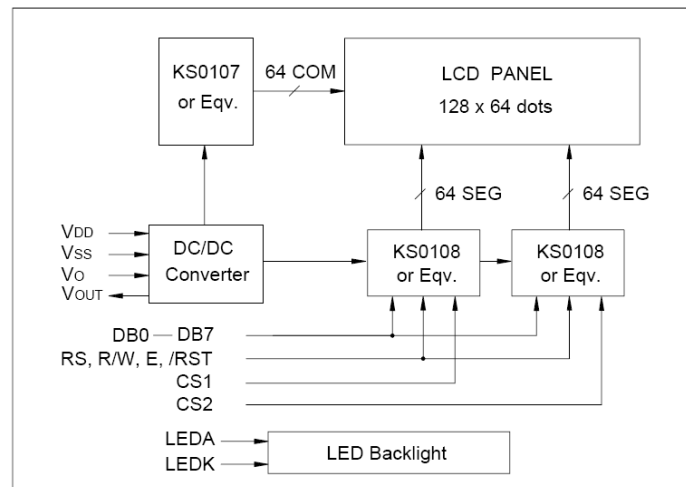


Figura 2.13 Diagrama de Bloques GLCD³¹

En el Anexo 2 se encuentra la hoja de datos técnicos de la pantalla gráfica CM12864-2.



Figura 2.14 GLCD CM12864-2

2.3.4.4 Memoria EEPROM 24LC256 [12]

Las memorias EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) que funcionan bajo el protocolo I2C han ganado poco a poco un espacio en el hardware de los equipos electrónicos hasta transformarse en uno de los medios de almacenamiento de información más populares por su practicidad y sencillez de manejo, ya que tener la posibilidad de almacenar datos de diversa

³¹ Fuente: Anexo 2

índole en una memoria no volátil, es una característica importante de los equipos porque permite la desconexión prolongada de cualquier suministro energético y conservar durante mucho tiempo información valiosa que de otro modo, se perdería al desconectar un sistema.

El PCT utiliza la memoria serial 24LC256 en el módulo usuario (Figura 2.15) ya que ésta emplea el protocolo I2C para comunicarse con el microcontrolador y pueden usarse las mismas líneas que el Reloj de Tiempo Real usa, simplificando de esta manera el diseño del hardware y optimizando el uso de pines del PIC.

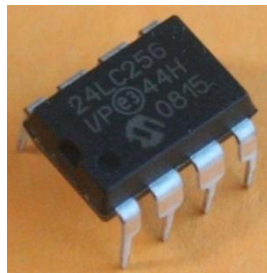


Figura 2.15 Memoria Serial 24LC256³²

En ésta memoria se almacenara datos como:

- Número de la unidad
- Código de ruta de trabajo asignado
- Tiempo marcado al pasar por cada punto de control
- Minutos de retraso

Los datos como tiempos marcados por la unidad y minutos de retraso serán borrados cuando se hayan descargado en la unidad de almacenamiento de la información ubicada en la terminal terrestre de Otavalo.

2.3.4.4.1 Distribución de pines

Los pines A0, A1, A2 (Figura 2.16) sirven para establecer la parte variable de la dirección del dispositivo, con el fin de poder conectar al bus hasta ocho dispositivos similares.

La dirección de 7 bits para el bus I2C esta compuesta de la siguiente manera:

³²Fuente: http://www.reshop.com/shop/images/products/24lc256_ip.jpg

- Los cuatro bits más significativos corresponden al valor binario **1010**, dispuesto por el fabricante para este tipo de dispositivo.
- Los tres siguientes corresponden a los bits de selección del dispositivo, lo cual se realiza por hardware usando los pines A0, A1 y A2. Si por ejemplo estos pines son puestos a común (cero) el valor binario de la dirección del dispositivo es b1010000.

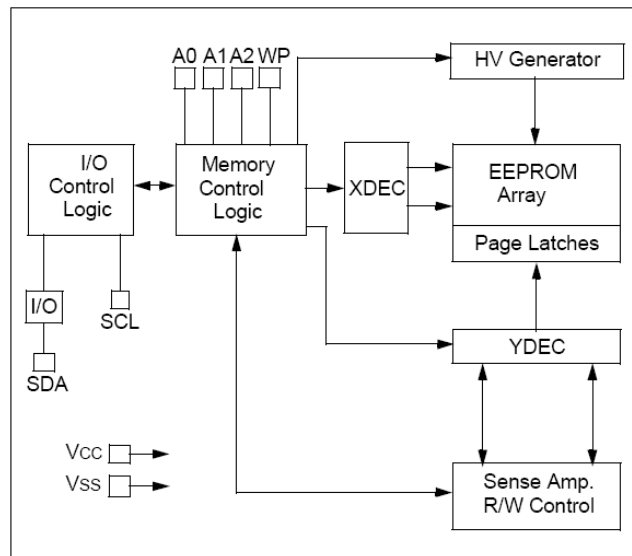
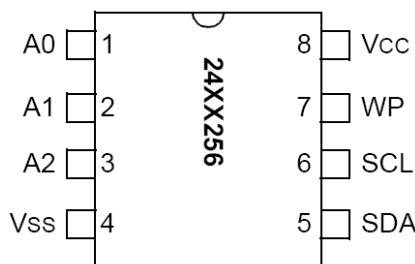


Figura 2.16 Diagrama de bloques Memoria EEPROM³³

En la Tabla 2.6 se presenta en detalle la descripción de pines de la memoria serial.

PIN	DESCRIPCIÓN
A0	Bit menos significativo de dirección
A1	Segundo bit menos significativo de dirección
A2	Bit más significativo de dirección
V _{SS}	Tierra
SDA	Línea de Datos (System Data)
SCL	Línea de Reloj (System Clock)
WP	Protección contra escritura
V _{CC}	Alimentación

Tabla 2.6 Descripción de pines Memoria 24LC256³³



³³ Fuente: [12] Hoja de datos EEPROM 24LC256. Pág. 1

2.3.4.5 Reloj de tiempo real DS1307 [9]

El reloj DS1307 (Figura 2.17) permite contar: horas, minutos, segundos, fecha, mes, año y día de la semana, y está compensado hasta el año 2100; éstos datos son desplegados en la GLCD del módulo usuario. Posee una entrada para conectar una batería de respaldo de 3V, trabaja con un oscilador externo de 32.768 KHz. y funciona como un dispositivo esclavo.

2.3.4.5.1 Características Generales

El DS1307 es un poderoso reloj calendario en formato BCD (Código Binario Decimal), cuyas características más destacadas son las siguientes:

- Reloj de tiempo real que cuenta los segundos, los minutos, las horas, la fecha, el mes, el día de la semana, y el año, con compensación de años bisiestos, válido hasta el año 2100.
- Formato de 12 Horas con indicador AM/PM ó de 24 horas.
- Maneja el protocolo de comunicación I2C.
- Tiene 56 bytes de RAM no volátil, para almacenamiento de datos.
- Genera una señal de onda cuadrada programable.
- Posee circuitos internos de respaldo para la alimentación automática.
- Presenta bajo consumo de potencia: menor a 500nA en modo respaldo, a 25°C.

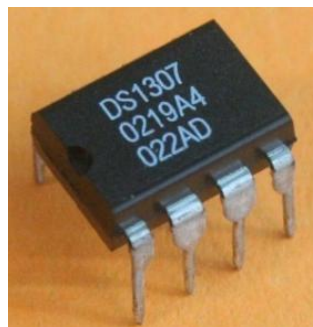
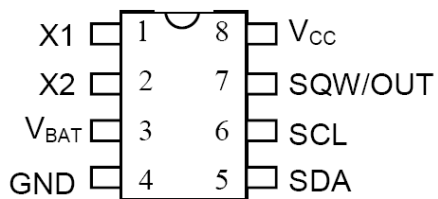


Figura 2.17 Reloj de Tiempo Real DS1307³⁴

³⁴ Fuente: <http://blog.electronicasimple.com/imagsp/ds13073.jpg>

2.3.4.5.2 Distribución de pines



PIN	DESCRIPCIÓN
X1, X2	Conexión al oscilador de 32.768KHz
V _{BAT}	Batería de respaldo (3V)
GND	Tierra
SDA	Línea de Datos (System Data)
SCL	Línea de Reloj (System Clock)
SQW/OUT	Salida para generar frecuencias
V _{CC}	Alimentación

Tabla 2.7 Descripción de pines DS1307³⁵

Su diagrama de bloques se presenta en la Figura 2.18.

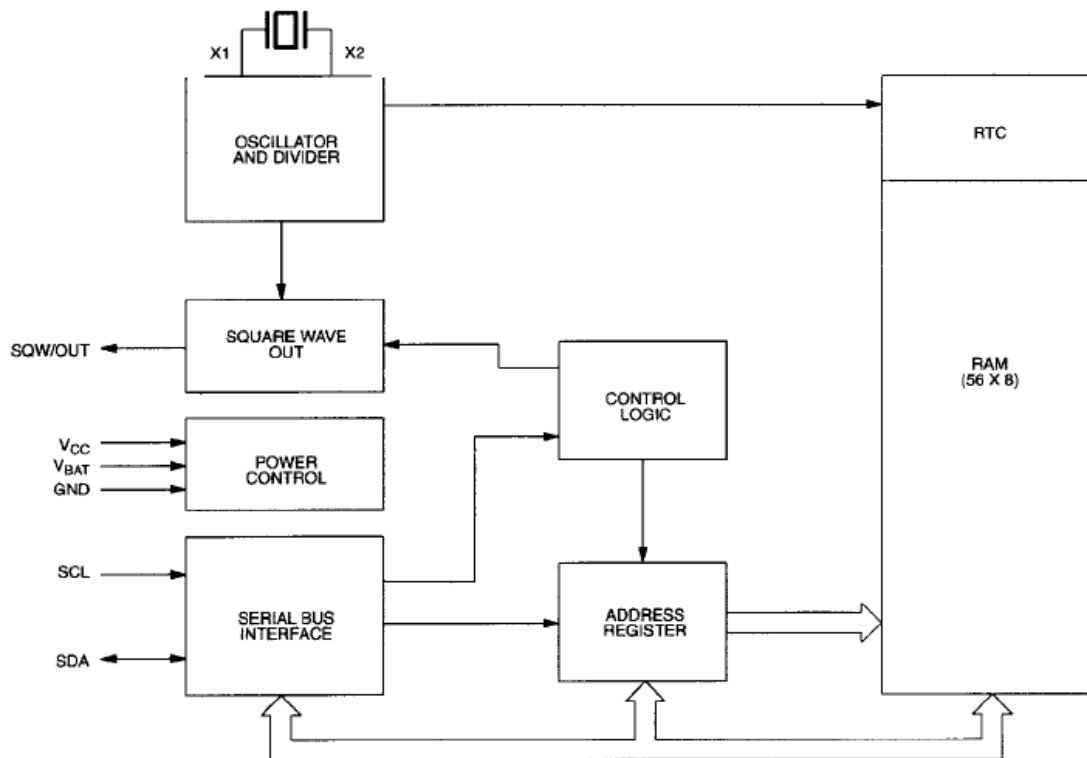


Figura 2.18 Diagrama de bloques DS1307³⁵

2.3.4.5.3 Mapa de Direcciones

En la Figura 2.19, se presenta el mapa de direcciones para los registros del Reloj de Tiempo Real y la RAM del DS1307. Los registros se localizan en las direcciones 0x00 hasta 0x07, mientras que la RAM va desde 0x08 hasta 0x3F.

³⁵ Fuente: [9] Hoja de datos DS1307 Reloj de Tiempo Real. Págs. 1, 4.

El puntero de direcciones es de 6 bits, de tal manera que cuando se realiza accesos múltiples y se alcanza la dirección 0x3F, ó fin del espacio de la RAM, el puntero regresa a 0 con el siguiente acceso.

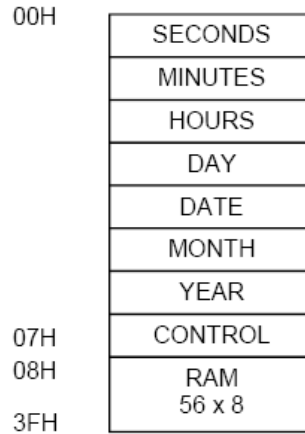


Figura 2.19 Mapa de direcciones Reloj DS1307³⁶

2.3.4.5.4 Funcionamiento

La información del tiempo y el calendario esta en formato BCD, y es obtenida leyendo los registros apropiados los cuales se muestran en la Figura 2.20. Los bits marcados con 0 en esta figura son intrascendentes para el funcionamiento del circuito.

El bit 7 del registro 0 es el bit CH (Clock Halt). Cuando este bit se establece a 1, el oscilador se deshabilita, deteniendo el funcionamiento del reloj. Cuando se establece a 0, el oscilador es habilitado, y el circuito funciona normalmente.

El RTC (Real Time Clock), como se mencionó puede trabajar en formato de 12 horas ó de 24 horas siendo el bit 6 del registro 2 el encargado de determinar esta función. Cuando se establece a 1, funciona en modo 12 horas, y el bit 5 es el indicador AM/PM, siendo 1 cuando es PM.

En formato 24 horas, el bit 5 de este registro es la parte más significativa de las decenas de horas.

³⁶ Fuente: [9] Hoja de datos DS1307 Reloj de Tiempo Real. Pág. 3.

El registro 7 es el registro de control. Este registro es utilizado para determinar el funcionamiento del pin de salida SQW/OUT. El bit 7 ó OUT determina el nivel de salida cuando la salida de onda cuadrada esta deshabilitada (SQWE = 0).

	BIT7								BIT0	
00H	CH	10 SECONDS			SECONDS					00-59
	0	10 MINUTES			MINUTES					00-59
	0	12 24	10 HR A/P	10 HR	HOURS					01-12 00-23
	0	0	0	0	0	DAY				1-7
	0	0	10 DATE		DATE					01-28/29 01-30 01-31
	0	0	0	10 MONTH	MONTH					01-12
	10 YEAR				YEAR					00-99
07H	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0		

Figura 2.20 Registros Reloj DS1307³⁷

La dirección para conectarse al bus está compuesta de 7 bits. El DS1307 tiene establecida internamente la dirección en binario 1101000. Para facilitar la programación el bit siguiente, correspondiente a lectura/escritura, se incorpora a los siete bits anteriores, a fin de completar un byte. En el caso de escritura la dirección del DS1307 es entonces 0xD0 y en el caso de lectura 0xD1.

El acceso se obtiene mediante la aplicación de una condición de inicio y la prestación de un código de identificación del dispositivo seguido de una dirección de registro.

Se puede acceder a los registros posteriores de forma secuencial hasta que una condición STOP es ejecutada.

2.3.5 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO MÓDULO-USUARIO

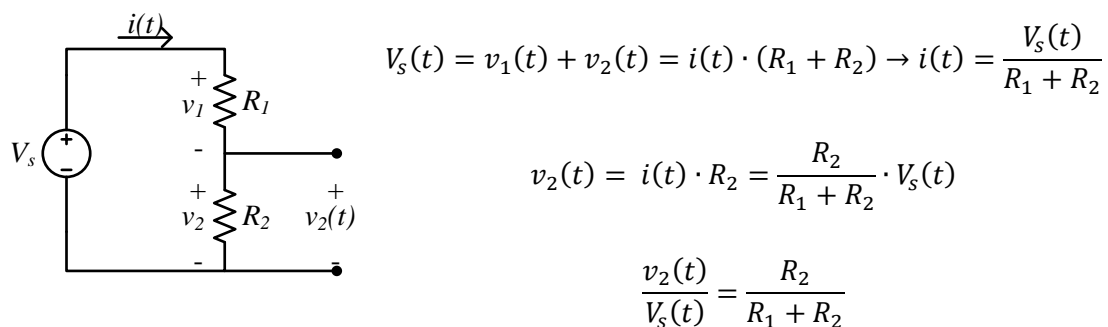
2.3.5.1 Módulo XBee

³⁷ Fuente: [9] Hoja de datos DS1307 Reloj de Tiempo Real. Pág. 3.

En la Figura 2.21 se encuentra la conexión del módulo XBee con el microcontrolador.

Las resistencias R1 y R2 forman un divisor de voltaje para proteger el pin de recepción de datos del módulo debido a que éste trabaja con un voltaje de 3.3V. diferente a los 5V del microcontrolador.

Los valores de R1 y R2 están dados por la siguiente fórmula de divisores de voltaje:



donde:

$$v_2(t) = 3.3V \text{ (voltaje del módulo)}$$

$$V_s(t) = 5V \text{ (voltaje del microcontrolador)}$$

$$R_1 = 10K\Omega \text{ (valor propuesto)}$$

Reemplazando valores y despejando R_2 se tiene: $R_2 = \frac{3.3}{1.7} R_1 = 19411.76 \cong 20K\Omega$

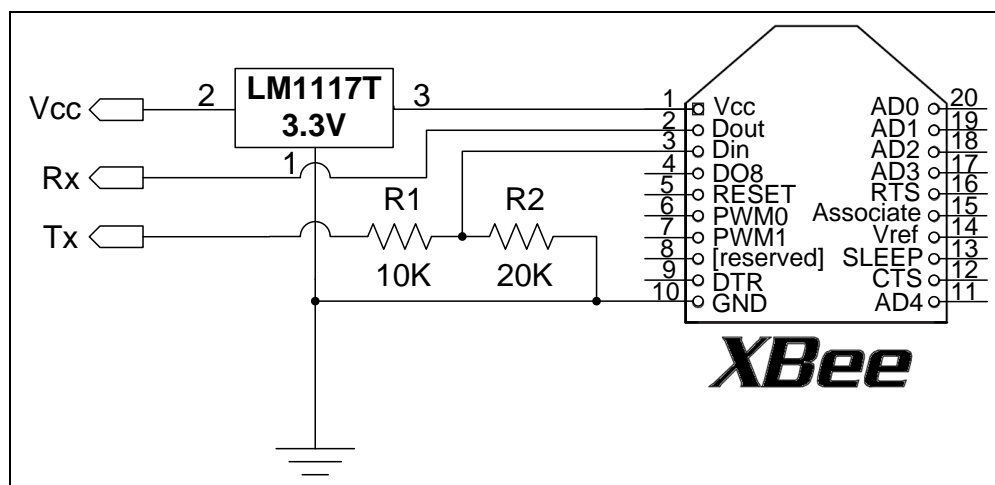


Figura 2.21 Conexión al Módulo XBee

El integrado LM1117T es un regulador de voltaje para proveer los 3.3V que alimentan al módulo XBee.

Los pines Vcc, Rx y Tx se conectarán al microcontrolador.

2.3.5.2 GLCD

En la Figura 2.22 se presenta el diagrama de conexión final de la GLCD; tiene un potenciómetro P1 de 20 K Ω que sirve para regular el brillo de la pantalla; el envío de datos a la pantalla se llevará a cabo desde todo el puerto D del microcontrolador, los terminales de *Enable*, *R/W*, *D/I* ó *RS*, *CS2*, *CS1* se configuran desde los pines 5, 4, 2, 1 y 0 respectivamente del puerto B; el pin de *Reset* es controlado desde el pin C0 del microcontrolador. Ésta conexión de pines es la que sugiere la librería de PIC C³⁸ para el manejo de la GLCD.

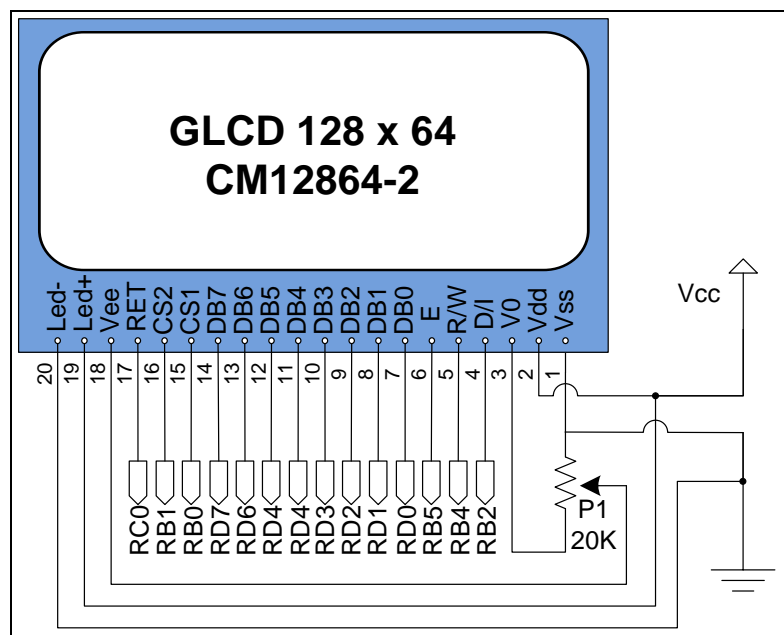


Figura 2.22 Conexión GLCD

2.3.5.3 Memoria 24LC256

Como ya se menciona, ésta memoria utiliza el protocolo I2C para comunicarse con el microcontrolador; para esto destina las líneas SCL y SDA, cada línea necesita de una resistencia de *pull up* cuyo valor se establece por:

³⁸ Compilador en Lenguaje C para PICs

$$R = \frac{V_{cc}}{I} = \frac{5V}{500\mu A} = 10k\Omega$$

donde:

V_{cc} = Voltaje de alimentación.

I = Corriente en nivel TTL.

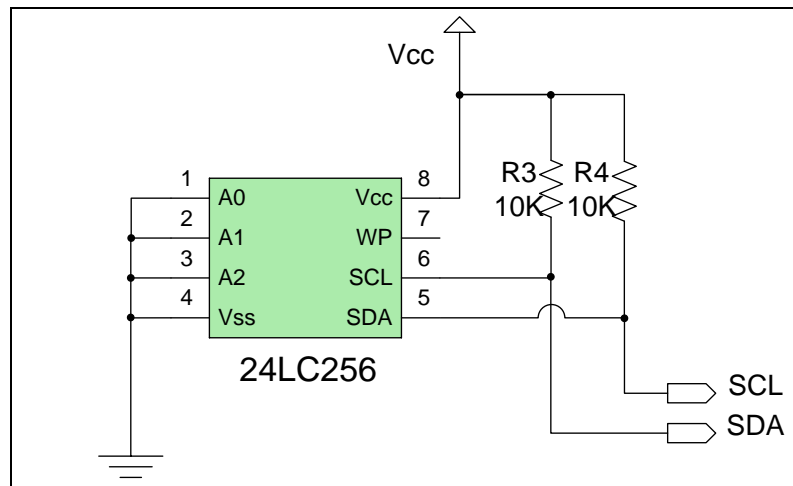


Figura 2.23 Conexión Memoria Serial

Los pines SCL y SDA se conectan con el microcontrolador del Módulo Usuario.

2.3.5.4 Reloj/Calendario

El reloj de tiempo real DS1307 es un dispositivo que emplea una fuente de alimentación de respaldo Bt para que éste conserve la hora actual en caso de perderse la alimentación principal.

El DS1307 usa un cristal oscilador de 32.768kHz conectado a los pines X1 y X2 como se aprecia en la Figura 2.24.

Al igual que en la EEPROM, los pines SCL y SDA se conectan con el microcontrolador del Módulo Usuario.

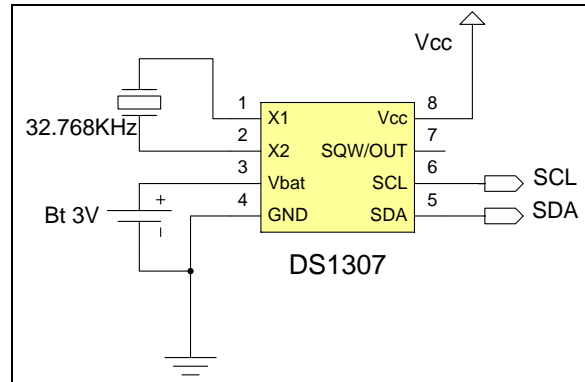


Figura 2.24 Conexión Reloj/Calendario

2.3.5.5 Microcontrolador Módulo Usuario

En la Figura 2.25 se representa el microcontrolador que comanda todas las funciones del módulo usuario con la descripción de la conexión de todos sus pines con los módulos antes descritos. El PIC posee una interfaz U1 que sirve para conectarlo con el grabador facilitando su grabación sin que sea necesario removerlo del zócalo y cargar el software las veces que sea necesario; además trabaja con un oscilador externo de 12 MHz conectado a los pines 13 y 14.

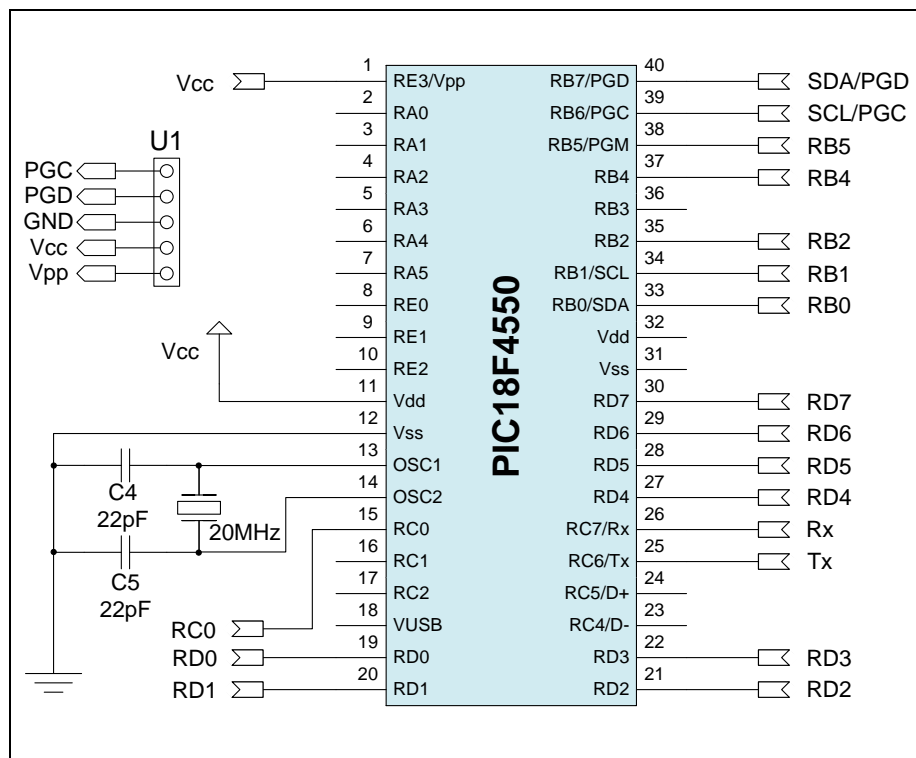


Figura 2.25 Conexiones PIC Módulo Usuario

2.3.5.6 Fuente Módulo Usuario

Para la construcción de la fuente de alimentación de éste módulo es importante considerar la cantidad aproximada de corriente que fluirá a través de él; para ello se describe en la Tabla 2.8 los dispositivos empleados en el módulo con su respectivo valor de Corriente obtenidos de las hojas de datos técnicos que proporciona el fabricante.

El módulo usuario empleará como voltaje de entrada los 12 VCC proporcionados por la batería del vehículo; éste voltaje es regulado por el integrado LM7805 ya que maneja una corriente de salida de hasta 1 amperio encajando perfectamente en las necesidades de éste módulo; de ésta manera se obtienen los 5V para el funcionamiento de todos los componentes.

COMPONENTE	CORRIENTE [mA]
Microcontrolador	18 @ 12MHz
Módulo Xbee	50
Diodo Led	40
GLCD	17
EEPROM	3
Reloj de Tiempo Real	1,5
TOTAL	129,5

Tabla 2.8 Corriente Módulo Usuario

No se provee alimentación de respaldo ya que no se considera necesario que el módulo móvil esté activo cuando el vehículo no esté encendido.

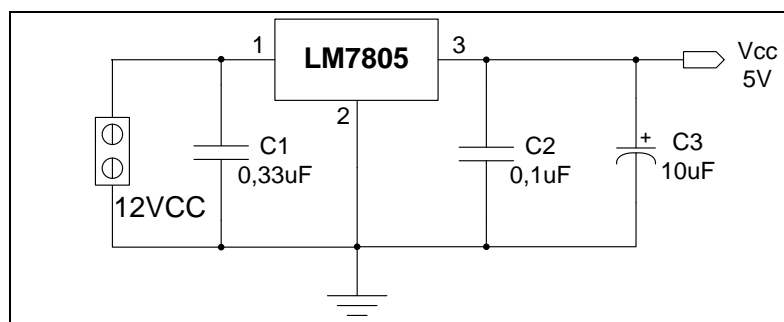


Figura 2.26 Diagrama esquemático Fuente³⁹

³⁹ Conexión sugerida por el fabricante. Disponible en:
<http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf> Pág. 22

2.3.6 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO MODULO-NODO

Para la conexión del Módulo XBee se emplea el mismo diagrama que en el módulo usuario, literal 2.3.5.1.

2.3.6.1 Microcontrolador Módulo Nodo

El microcontrolador que comanda las funciones del módulo nodo es el 18F2550, al igual que en el módulo usuario se implementa una interfaz U1 para la grabación del PIC y trabaja con un oscilador externo de 12MHz.

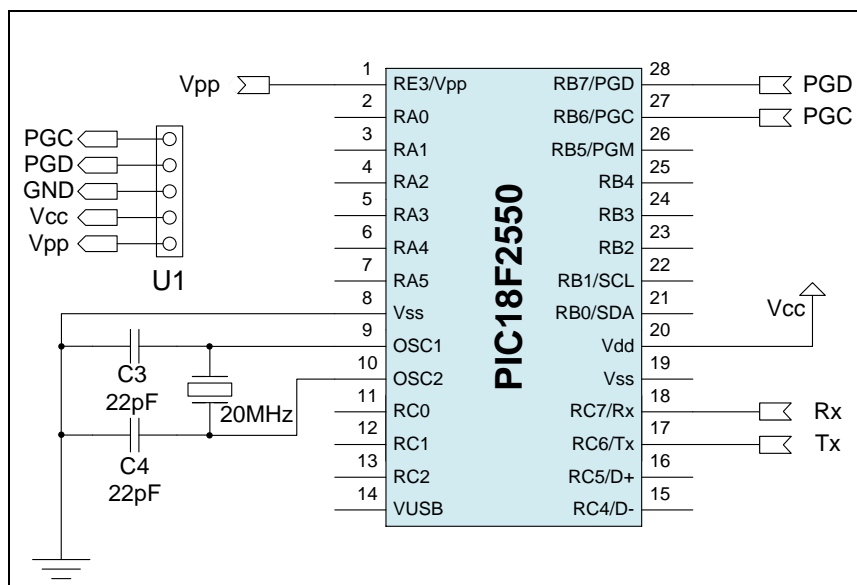


Figura 2.27 Conexiones PIC Módulo Nodo

2.3.6.2 Fuente Módulo Nodo

La cantidad de corriente que circulará a través de éste módulo es mínima, tal como se muestra en la Tabla 2.9.

COMPONENTE	CORRIENTE [mA]
Microcontrolador	18 @ 12MHz
Módulo Xbee	50
Diodo Led	20
TOTAL	88

Tabla 2.9 Corriente Módulo Nodo

El módulo nodo es fijo, pudiéndolo alimentar desde la red convencional de 120VCA, en la Figura 2.28 se tiene el diagrama de conexión de los elementos

necesarios para generar los cinco voltios con los que trabajan los componentes de éste módulo.

Para el sistema de respaldo de energía se utiliza una batería de 9 voltios Bt, colocándose entre el capacitor de filtrado C1 y el regulador de voltaje LM7805, se colocan un diodo D2, que garantiza que en el caso de existir energía en la red este se polarice inversamente y no exista flujo de corriente de la batería al sistema.

Cuando no exista energía de la red, el diodo se polarizara directamente y la corriente será entregada por la batería, existiendo de esta manera un sistema ininterrumpido en el tiempo, además al tener la batería cuatro voltios más que la salida del regulador, se garantiza el buen funcionamiento del mismo.

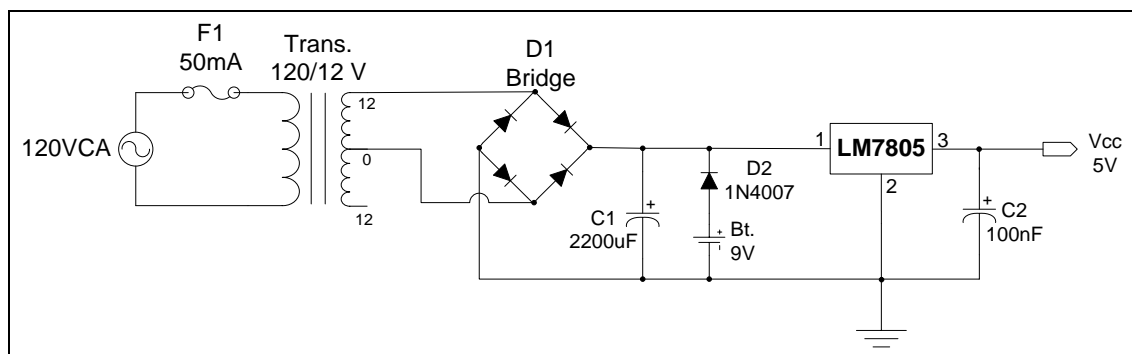


Figura 2.28 Diagrama esquemático Fuente Módulo Nodo

2.3.7 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO MÓDULO-MÁSTER

El hardware de conexión del Módulo XBee no varía para éste módulo; por lo que se empleará el del literal 2.3.5.1.

Éste módulo se alimenta con los 5V que recibe conectándose al puerto USB de la computadora.

2.3.7.1 Microcontrolador Módulo Máster

El módulo máster emplea el PIC18F2550 para comandar sus funciones (Figura 2.29), éste tiene una interfaz de programación U1 y trabaja con un oscilador externo de 20 MHz al igual que los anteriores módulos, además emplea los pines

4 y 5 del puerto C para emular la comunicación serial con el computador mediante el puerto USB.

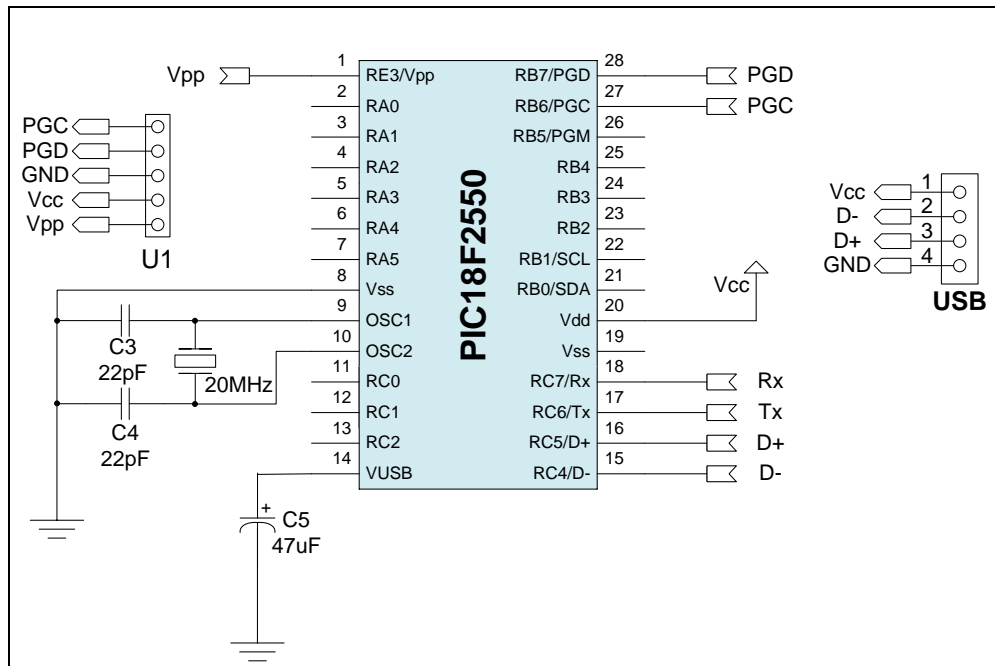


Figura 2.29 Conexiones PIC Módulo Máster

2.4 COMUNICACIONES

2.4.1 COMUNICACIÓN SERIAL ASÍNCRONA USART ^[14]

La comunicación serial asíncrona, como su nombre lo indica, realiza la transferencia de información enviando o recibiendo datos descompuestos en bits, los cuales viajan secuencialmente uno tras otro sin ninguna señal de reloj, sino que el receptor se sincroniza con la llegada de cada nuevo carácter, en este modo el tiempo de espera entre el envío de un carácter y el siguiente es aleatorio por lo que la eficiencia disminuye.

Entonces previo a la transmisión del carácter de información se envía un bit de inicio (start) el que es un 0L, seguido de los bits de datos a los que se puede adicionar un bit de paridad (es opcional) y finalmente el o los bits de parada (1, 1.5 o 2 bits), este arreglo de bits se conoce como carácter asincrónico (Figura 2.30).

Éste tipo de comunicación se la emplea entre el módulo XBee y el microcontrolador (Figura 2.4).

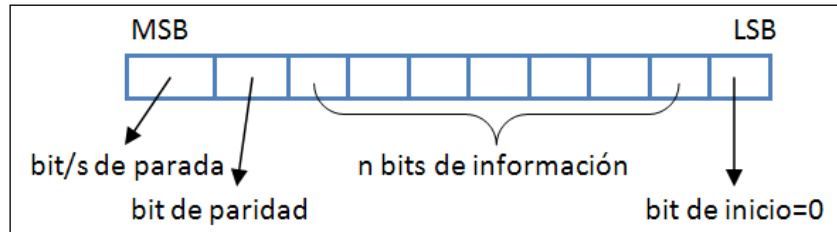


Figura 2.30 Caracter Asincrónico

2.4.2 COMUNICACIÓN I2C ^[15]

El Bus I2C (Inter - Integrated Circuit) es un sistema de comunicación de dos cables, con propiedades de velocidad de transferencia de datos considerada de media a baja (400 Khz. a 100 Khz.) y que fue desarrollado por *Philips Semiconductor*, a comienzos de la década del 80. Originalmente fue creado para reducir los costos de los equipos electrónicos, tuvo sus primeras aplicaciones en controles de contraste, brillo y volumen en aparatos de televisión pero actualmente encontramos conexiones por bus I2C en una gran variedad de computadoras, equipos industriales, entretenimiento, medicina, sistemas militares y un ilimitado abanico de aplicaciones e importantes usos potenciales.

Antes de la aparición del Bus I2C, las transferencias de datos de memorias a microprocesadores, eran realizadas en forma paralela requiriendo de esta forma encapsulados con una importante cantidades de pines (24, 28, o más pines). La asignación de funciones de los pines se repartían entre el direccionamiento de la memoria, la selección, el control y la transferencia de datos. Esta última solamente requería de 8 pines más otros ocho pines para el direccionamiento, por mencionar algunos. En contraste con este despilfarro de pines, el Bus I2C permite la comunicación “*chip-to-chip*” usando solo dos cables en una conexión serial, permitiendo de esta forma comunicar dispositivos con muy pocas vías.

Estos dos cables son llamados Clock (SCL) y Data (SDA) y son los encargados del direccionamiento, selección, control y transferencia de datos, de a un bit por vez.

SDA está encargado del intercambio de datos, mientras que **SCL** se encarga de sincronizar al transmisor y al receptor durante la transferencia de los datos mencionados desde un IC al otro.

Dentro del sistema de comunicación I2C, los dispositivos están identificados como Maestro (Master) y Esclavo (Slave), por lo que al dispositivo que inicia el contacto y “*abre*” el bus se lo denomina Maestro, mientras que al que recibe y contesta el llamado se lo denomina Esclavo.

Los dispositivos conectados al bus pueden ser solamente Maestro, solamente Esclavo o intercalar las funciones de Maestro y Esclavo de acuerdo como el sistema requiera, tal como es el caso de las memorias EEPROM I2C y el Reloj de Tiempo Real DS1307 empleados en el Módulo-Usuario (Figura 2.4).

Este sistema puede interconectar a muchos Circuitos Integrados sobre el bus (hasta 255 dispositivos) y todos conectados a los mismos dos cables SDA y SCL. Cada dispositivo esclavo posee una única dirección y cuando el Maestro transmita el llamado, todos los dispositivos conectados al bus lo escucharán, pero solo le contestará aquel que posea la dirección que el transmisor incluyó en su llamada y será con este único Esclavo, con quien iniciará la transferencia de datos hasta que decida “*cerrarla*”.

Los 7 bits más significativos de este byte es la dirección del esclavo, el bit menos significativo controla la dirección de la próxima transferencia (uno o más bytes). Un “0” indica una transferencia de maestro a esclavo, y un “1” indica una transferencia de esclavo a maestro. Este bit normalmente se denomina R/W.

Los datos pueden ser transferidos en ambas direcciones durante un intercambio reenviando el pulso de start y cambiando el bit de R/W en el byte de dirección.

Las dos líneas SCL y SDA están conectadas a la línea de alimentación a través de resistencias de pull up cuya misión es la de permitir que tanto la línea de datos como la de reloj sean bidireccionales; el valor de estas resistencias está

comprendido entre 1K y 10K dependiendo de la tensión de alimentación y de los dispositivos conectados.

2.4.3 COMUNICACIÓN USB CDC ^[13,16]

CDC (*Communications Devices Class*), es una clase de dispositivos de comunicación del Bus Serial Universal USB. Proporciona una clase de dispositivo único, pero puede haber más de una interfaz implementada como una interfaz de control personalizado, interfaz de datos, audio, o de almacenamiento masivo relacionados con las interfaces.

Esta clase se aplican generalmente en los sistemas integrados como teléfonos móviles para lograr más de una funcionalidad del dispositivo, de modo que un teléfono se puede utilizar como un módem, fax o puerto de red. Las interfaces de datos generalmente se utilizan para realizar la transferencia de datos a granel.

En el PCT se emplea esta clase para comunicar al Módulo-Máster con la PC (Figura 2.6) y viceversa, emulando un puerto COM serie estándar. Para esto se realizan los ajustes necesarios en el Software del PIC para que sea reconocido por el Sistema Operativo de la PC como un dispositivo Serie estándar y lo registre como un puerto COM Virtual. Microchip provee el driver necesario para realizarlo.

Una vez instalado el driver esperará encontrar el VID y el PID que hayamos adaptado según nuestras necesidades.

El VID (Vendor Identification) y el PID (Product Identification) son números de 16 bits o códigos que identifica al fabricante y dispositivo del hardware a conectar. En este caso se utiliza el número 04D8h que identifica a Microchip y el número 000Bh que identifica a la familia de los PIC18 de este fabricante.

La frecuencia de oscilación necesaria en el PIC para la correcta comunicación con el Bus Serial Universal es de 48 Mhz.

2.5 DISEÑO DEL SOFTWARE

El software de los microcontroladores se desarrollo en lenguaje C mediante el compilador CCS por considerarse bastante práctico y porque posee librerías y rutinas establecidas que ayudan en el manejo de la GLCD, la memoria 24LC256, las comunicaciones RS232, I2C y USB CDC.

Una descripción del uso de estas rutinas y librerías se mencionarán en la sección correspondiente a la descripción de los programas y los correspondientes códigos fuentes serán incluidos en los anexos del documento.

2.5.1 DIAGRAMAS DE FLUJO

A continuación se presentan los diagramas de flujo de los programas del módulo máster, usuario y nodo en las figuras: Figura 2.31,

Figura 2.32 y Figura 2.33 respectivamente a implementarse en los microcontroladores que comandan el PCT.

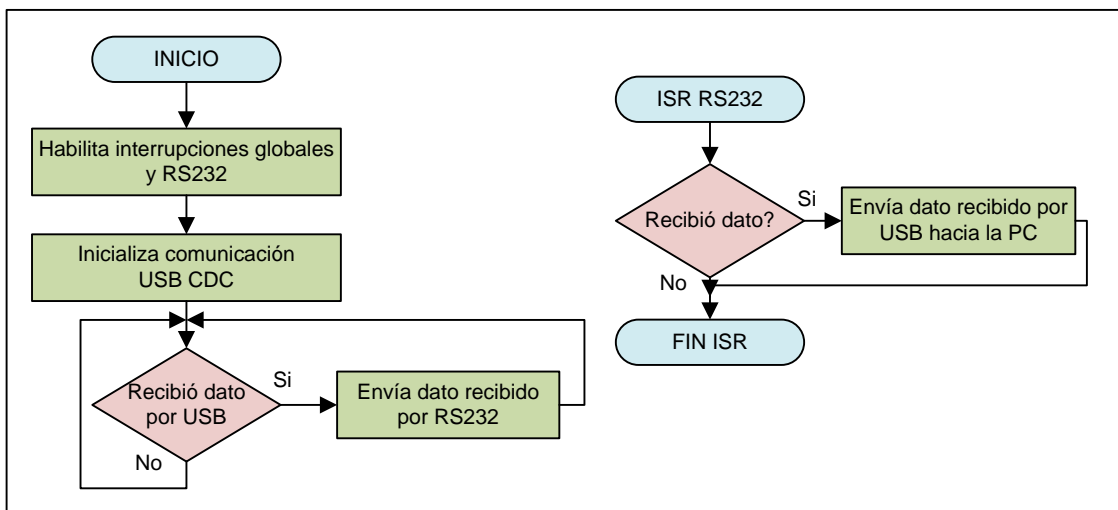


Figura 2.31 Flujograma Módulo Máster

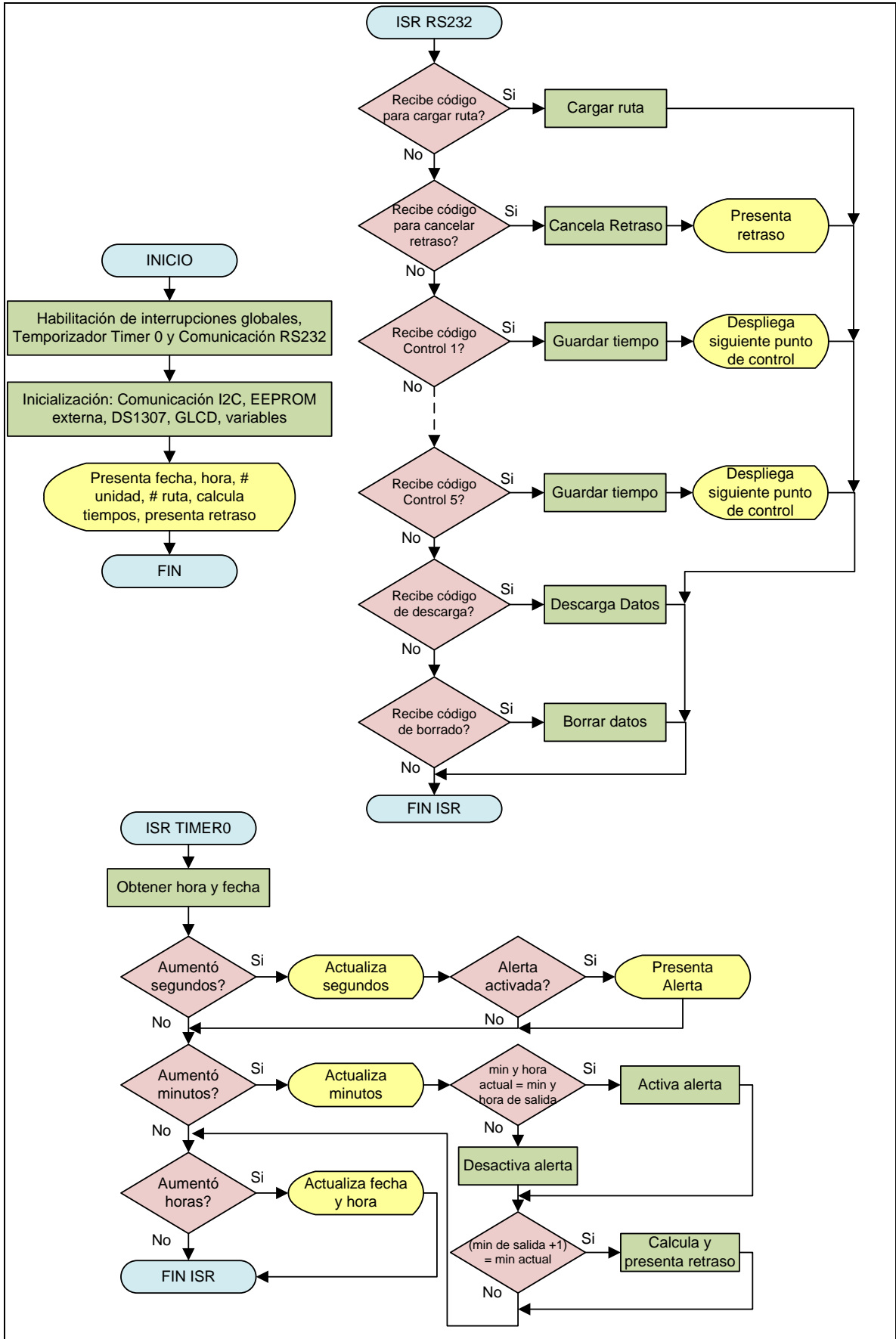
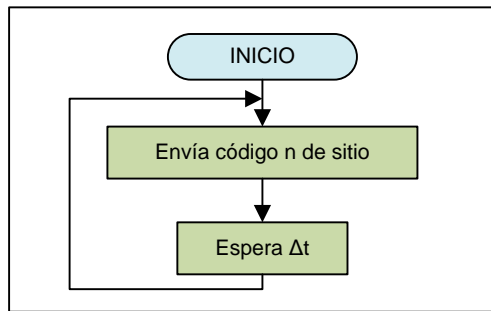


Figura 2.32 Flujograma Módulo Usuario**Figura 2.33 Flujograma Módulo Nodo**

CAPÍTULO III

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN

En éste capítulo se describe el software realizado para el sistema de almacenamiento de información en base a parámetros planteados en el diseño, los cuales deberá cumplir en un 100%; además se define la base de datos empleada.

3.1 PROGRAMA PARA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

El propósito esencial del software es adquirir los datos almacenados en el Módulo-Usuario de manera inalámbrica mediante la tecnología ZigBee y almacenarlos en una base de datos; para lo cual, se desarrolló una aplicación de escritorio en el lenguaje de programación Java sobre la plataforma NetBeans IDE 6.8.

3.1.1 PARÁMETROS A CONSIDERARSE EN EL DISEÑO DEL SOFTWARE

Para desarrollar adecuadamente la aplicación, hay que tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- El programa debe estar en la capacidad de enlazarse mediante comunicación USB-CDC⁴⁰ hacia el Módulo-Máster; desde dónde se enviarán y recibirán las tramas de datos hacia los Módulos-Usuario.
- La aplicación debe trabajar dinámicamente con una base de datos solicitando y almacenando registros.
- El programa debe permitir gestionar datos de administración de la Cooperativa de Transportes “Otavalo” como son el ingreso, modificación y eliminación de rutas, cuadros de trabajo, tiempos de destinos y unidades de transporte.
- Deberá descargar la información de las unidades de transporte, verificar que no este duplicada en la base de datos y almacenarla o descartarla; enviando también un mensaje de recepción correcta o incorrecta de datos para que puedan ser eliminados o reenviados.

⁴⁰ Éste tipo de comunicación se explica en el ítem 2.4.3, pág. 59

- El software debe facilitar el cobro de los minutos de retraso y emitir un comprobante escrito que detalle las infracciones cometidas por la unidad de transporte.
- En cuanto a seguridad, el software debe solicitar una contraseña de ingreso.

Además de tomar en cuenta estos parámetros, la Tabla 3.1 muestra las tramas que enviará el Módulo-Máster hacia el software de gestión.

TRAMA	DESCRIPCIÓN																																																																		
N n ⁴¹	Número de registros a enviar. Ej: N8; se enviarán 8 registros.																																																																		
T	Indica que la ruta ha sido cargada.																																																																		
P	Pago realizado con éxito.																																																																		
B	La memoria ha sido borrada.																																																																		
L	Hora cargada correctamente.																																																																		
<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">U</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">n</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">n</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">R</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">n</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">n</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">n</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">n</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">F</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">a</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0</td><td></td><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td style="text-align: center;">6</td><td></td><td style="text-align: center;">9</td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table> <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">a</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">a</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">a</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">m</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">m</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">d</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">H</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">h</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">h</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">m</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">18</td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table> <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">m</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">/</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">A/N</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">S</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">h</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">h</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">m</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">m</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">A</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">n</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">n</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">23</td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">25</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">30</td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>	U	n	n	R	n	n	C	n	n	F	a	0		3		6		9					a	a	a	m	m	d	H	h	h	m							18				m	D	/	A/N	S	h	h	m	m	A	n	n	23			25					30				<p>Formato del registro a enviar hacia el software; cada letra tiene su significado:</p> <p>U = Número de unidad, R = Número de ruta, C = Número de punto de control, F = Fecha del registro (aaaa-mm-dd), H= Hora Marcada (hh:mm), D = Tipo de destino (A:Adelantado ó N:Normal), S = Hora de Salida del terminal (hh:mm), A = Minutos de retraso.</p>
U	n	n	R	n	n	C	n	n	F	a																																																									
0		3		6		9																																																													
a	a	a	m	m	d	H	h	h	m																																																										
						18																																																													
m	D	/	A/N	S	h	h	m	m	A	n	n																																																								
23			25					30																																																											
F I N	Indica que se ha terminado de enviar registros.																																																																		

Tabla 3.1 Tramas que enviará el Módulo-Máster

⁴¹ "n" simboliza un número cualquiera.

3.1.2 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

El desarrollo de la aplicación consta de varios formularios, los cuales tienen la capacidad de comunicarse activamente con el Módulo-Máster y éste a su vez con el Módulo-Usuario a través del enlace ZigBee como se muestra en la Figura 3.1.

A continuación se presenta cada una de las ventanas que forman parte del sistema.

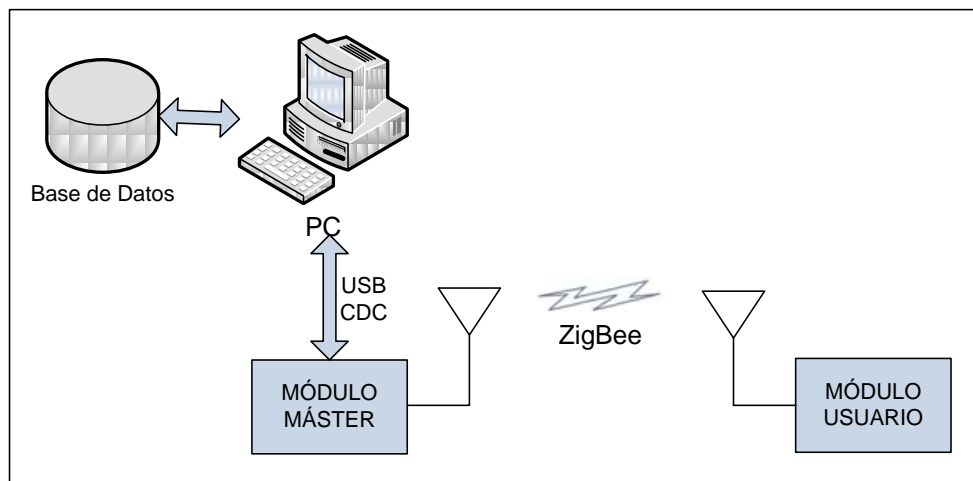


Figura 3.1 Esquema de Comunicación del PCT.

En la Figura 3.2 se muestra la ventana de presentación del proyecto donde se detalla entre otras cosas el nombre del mismo, autor y en su parte inferior muestra las diferentes opciones por las que puede optar el usuario como son: *INGRESAR* al Sistema o *SALIR* del mismo.

Al pulsar la opción de *INGRESAR* se despliega la ventana de *Ingreso y Conexión* que se muestra en la Figura 3.3, en la que se debe ingresar una contraseña que valide al usuario para poder operar el Sistema; dicha contraseña debe tener como máximo 10 caracteres y en un principio será una contraseña por defecto que luego el usuario podrá cambiarla a su voluntad pulsando el botón *Cambiar Contraseña*.

El puerto COM en el que se encuentra conectado el Módulo Máster no podrá ser modificado por el usuario ya que podría ocasionar errores en el funcionamiento del Módulo Máster si se selecciona uno erróneo.



Figura 3.2 Ventana de Inicio



Figura 3.3 Ventana de Ingreso y Conexión

Al seleccionar el botón *CONECTAR* se ingresa a la ventana de gestión de todo el sistema (Figura 3.4); si se selecciona el botón *SALIR*, se cierra esta ventana y se regresa a la de Inicio.

3.1.3 VENTANA DE GESTIÓN DEL SISTEMA

Ésta ventana posee una tabla que se actualizará automáticamente cada vez que llegue una unidad y descargue los datos de su recorrido; las filas de la tabla cuyo texto se encuentre en color rojo indican que se han producido retrasos y éstos serán almacenados en una tabla de la base de datos creada para este fin.

Los datos que se cargan en la tabla son: número de la unidad, identificador de la ruta, lugar de control, tiempo permitido, tiempo marcado por la unidad y finalmente los minutos de retraso que tuvo la unidad en dicho lugar de control.

Si se desea cargar en la tabla los datos registrados en días anteriores, se selecciona la fecha deseada en la parte superior de la ventana. La fecha seleccionada por defecto es la actual.

Además en ésta ventana se presentan los siguientes botones:



Figura 3.4 Ventana de Gestión de todo el Sistema

- **Imprimir:** Sirve para obtener un informe escrito de todos los datos registrados en la fecha seleccionada; es decir, se imprimirán todos los datos mostrados en la tabla.

- **Administración:** Ingresa a la ventana de Administración que se muestra en la Figura 3.5; desde ahí se gestiona toda la información de las rutas y unidades de la Cooperativa de Transportes “Otavalo”.
- **Cuadro de Trabajo:** Entra a la ventana que brinda las opciones de visualizar e ingresar las rutas para las unidades según la fecha seleccionada tal como se muestra en la Figura 3.10.
- **Cargar Ruta:** Éste botón sirve para ingresar a la ventana Cargar Ruta que se muestra en la Figura 3.6 desde donde se enviarán las rutas previamente cargadas en el cuadro de trabajo hacia las unidades de transporte.
- **Cancelar Retraso:** Desde éste botón se ingresa a la ventana que lleva su mismo nombre como se observa en la Figura 3.8; ésta ventana reporta todos los retrasos generados por la unidad seleccionada con el fin de poder cobrar una multa por cada minuto de retraso. El valor de la multa es asignado por la Cooperativa de Transportes “Otavalo”.
- **Salir:** Al presionar éste botón se abandona la aplicación.

3.1.4 VENTANA DE ADMINISTRACIÓN DE DATOS

Ésta ventana sirve para gestionar todos los datos de la Cooperativa de Transportes “Otavalo”, datos como rutas, lugares de control, tiempos de los destinos e información sobre las unidades; para ello se dispone de cuatro pestañas tal como se observa en la Figura 3.5; además, al presionar el botón IMPRIMIR se puede obtener la información escrita de cualquier pestaña.

Desde estas pestañas se puede ingresar, eliminar o modificar los datos que se desee; a continuación se describe la utilidad de cada una de estas pestañas:

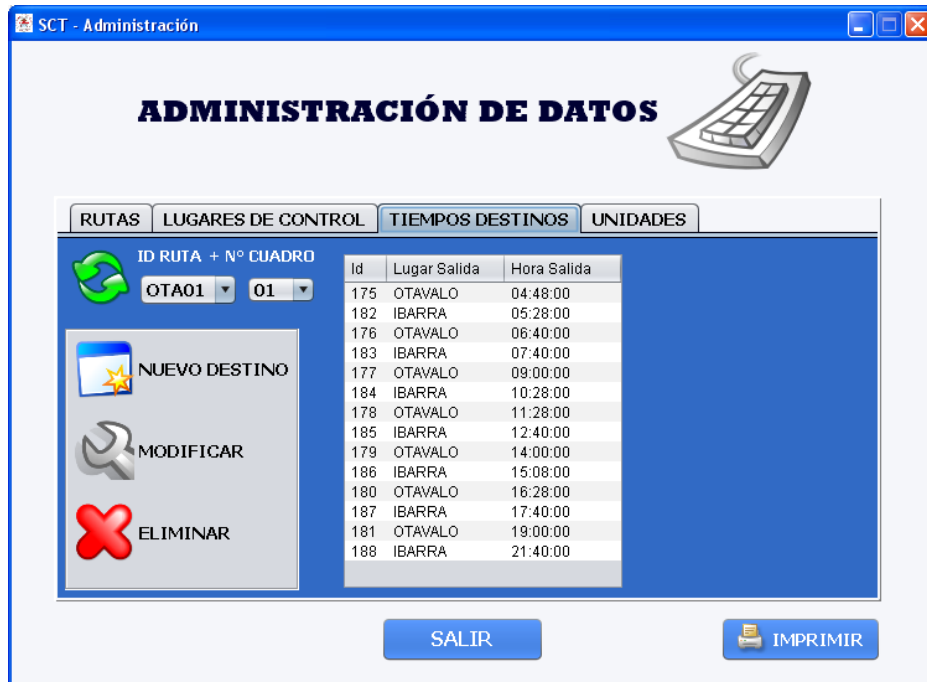


Figura 3.5 Ventana de Administración de Datos

- **Rutas:** Sirve para gestionar los códigos de ruta, su destino y el número del cuadro de trabajo.
- **Lugares de Control:** Se gestionan datos como código del lugar de control, nombre del lugar, el tiempo que debe tardar la unidad para llegar hasta ese punto desde una referencia de salida.
- **Tiempos Destinos:** Desde aquí se manejan los datos como el lugar y hora de salida según la ruta y cuadro de trabajo seleccionado; éstos datos serán cargados en el Módulo Usuario de cada unidad de transporte desde la ventana Cargar Ruta únicamente seleccionando el Identificador de la ruta y el Cuadro de trabajo.
- **Unidades:** Aquí se puede ingresar o modificar datos correspondientes a las unidades de transporte; éstos datos pueden ser: el número de la unidad, el nombre del propietario, dos números de teléfonos del propietario y el estado de la unidad; es decir si la unidad se encuentra disponible para trabajar, si esta de turismo, dañada o en mantenimiento.

3.1.5 VENTANA PARA CARGAR RUTAS

Ésta ventana brinda la opción de seleccionar una fecha y el número de la unidad a la que se desee cargar una ruta; una vez seleccionados estos dos datos, la ruta asignada en el cuadro de trabajo aparecerá de manera automática en los campos de la parte inferior de la ventana: *Ruta, Campo y Destino*.

El botón *Cambiar* da la opción de seleccionar una ruta diferente a la ya asignada en el cuadro de trabajo en el caso que se requiera por circunstancias propias de la Cooperativa de Transportes “Otavallo”; una de ellas es el caso de que una ruta vaya a ser compartida por dos unidades; es decir una unidad trabaja en la mañana en esa ruta y la otra trabajara en la misma ruta pero en la tarde.

Figura 3.6 Ventana para cargar rutas

Finalmente, al presionar el botón *Cargar*, la ruta será enviada a la unidad elegida, misma que enviará un mensaje de confirmación de recepción correcta de la ruta tal como se aprecia en la Figura 3.7.

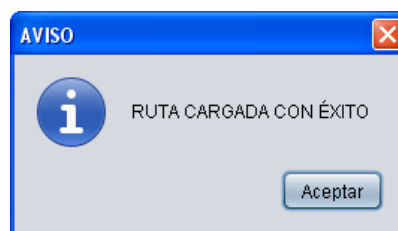


Figura 3.7 Mensaje de Confirmación

3.1.6 VENTANA PARA CANCELAR RETRASOS

Desde ésta ventana el usuario podrá seleccionar el número de la unidad de la que se va a cancelar sus retrasos y de manera automática se cargaran en la tabla de la ventana los retrasos existentes; en la parte inferior izquierda se presenta en color verde el total de minutos de retraso y en la derecha, en color azul, el valor a pagar.

#	Ruta / Punto de Control	Fecha	Min	\$\$	Pago	Fecha de Pago
94	OTA04/STO. DOMINGO	2010-06-12/11:08	1	0.5	NO	0000-00-00 00:00:...
97	OTA04/COL. AGROPECUA...	2010-06-12/14:36	2	1.0	NO	0000-00-00 00:00:...
98	OTA03/PEGUCHE	2010-06-13/11:08	1	0.5	NO	0000-00-00 00:00:...

Figura 3.8 Ventana para Cancelar Retrasos

Al presionar el botón *PAGAR*, ofrece la opción de imprimir un comprobante de pago de los retrasos cometidos como se puede apreciar en la Figura 3.9, aquí se detalla con exactitud cuándo y dónde se lo cometió; además, el módulo usuario colocado en la unidad emite un mensaje de confirmación del pago y su marcador de minutos de retraso se coloca en cero.

Para poder justificar un retraso, se selecciona de la tabla el retraso que se desee y se presiona el botón *Justificar R* quedando registrado este cambio en la base de datos y que pueda ser respaldado con la documentación respectiva; evitándose actos de corrupción dentro de la empresa.

COOPERATIVA DE TRANSPORTES
"OTAVALO"

FECHA:2010-06-13 21:49:00
UNIDAD:1

Multa por pasarse 4 minutos

D E T A L L E

FECHA	MIN	RUTA
2010-06-12/11:08	1	OTA04/STO. DOMIN
2010-06-12/14:36	2	OTA04/COL. AGROP
2010-06-13/11:08	1	OTA03/PEGUCHE

VALOR POR MINUTO: 0.50

T O T A L A P A G A R : \$ 2.0

RECAUDADOR

Figura 3.9 Comprobante de pago de Retraso

3.1.7 VENTANA PARA CARGAR EL CUADRO DE TRABAJO DIARIO

Desde ésta ventana se asignan las rutas para cada unidad; la pestaña *Actualizar Cuadro* de la Figura 3.10 permite seleccionar la ruta con la que trabajará cada unidad para la fecha seleccionada en la parte superior; mientras que en la pestaña *Cuadro de Trabajo* se puede visualizar la tabla ingresada en la pestaña anterior e imprimirla.

3.2 BASE DE DATOS

El sistema de almacenamiento de información fue creado en MySQL por ser un sistema de gestión de bases de datos relacionales y de uso libre. Una base de datos relacional es un conjunto de datos que están almacenados en tablas entre las cuales se establecen relaciones para manejar los datos de una forma más eficiente y segura.



Figura 3.10 Ventana para Gestionar Cuadro de Trabajo en la ruta Otavalo – Ibarra

La base de datos del PTC se conforma por 7 tablas relacionadas desde las que se tiene un total control sobre la información ya que se encuentra organizada y facilita las consultas requeridas en las tablas de las ventanas anteriormente presentadas.

3.2.1 MODELO RELACIONAL DE LA BASE DE DATOS.

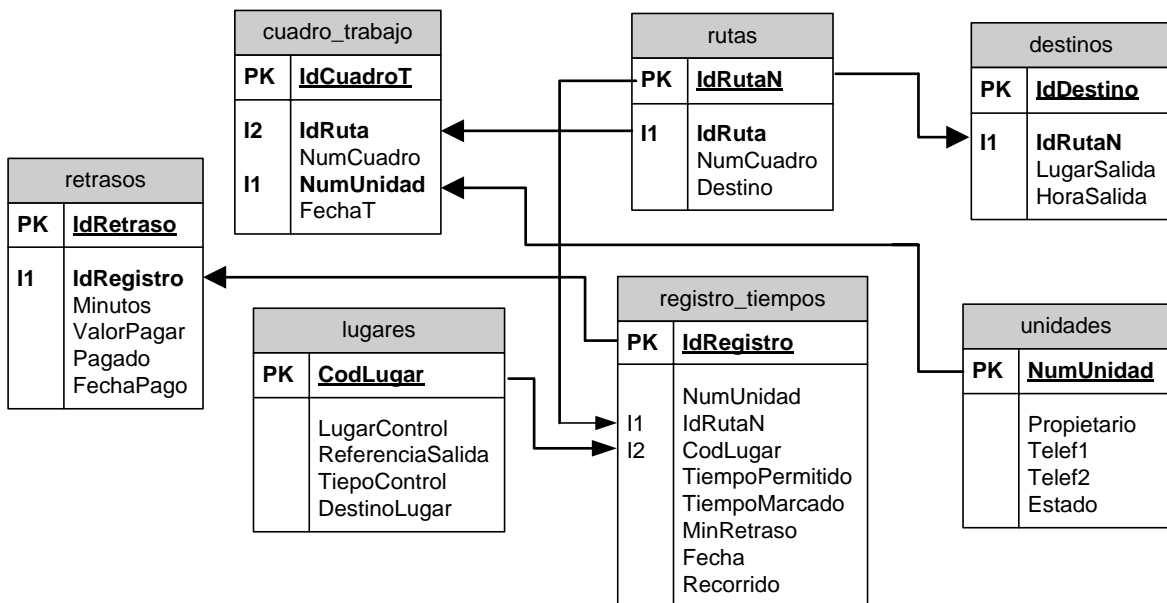


Figura 3.11 Modelo Relacional de la BDD

Las tablas creadas se detallan a continuación:

3.2.1.1 Tabla Rutas

A ésta tabla se la gestiona desde la pestaña *Rutas* de la ventana de Administración expuesta en la Figura 3.5. Los datos que se almacenan en esta tabla son.

- *IdRutaN*: es el número que identifica a la ruta; por lo tanto no puede repetirse en ésta tabla ya que se incrementa automáticamente.
- *IdRuta*: es el identificador de la ruta compuesto por 5 caracteres.
- *NumCuadro*: es el número de cuadro al que pertenece la ruta.
- *Destino*: se describe el destino de la ruta.

IdRutaN	IdRuta	NumCuadro	Destino
1	OTA01	2	OTAVALO - IBARRA
2	OTA02	2	OTAVALO - IBARRA
3	OTA03	2	OTAVALO - IBARRA
4	OTA04	2	OTAVALO - IBARRA
5	OTA05	2	OTAVALO - IBARRA

Figura 3.12 Información de la Tabla Rutas

3.2.1.2 Tabla Cuadro_Trabajo

Se vincula con la ventana que lleva su nombre como se aprecia en la Figura 3.10.

Los datos que se almacenan en esta tabla son:

- *IdRuta*: es el identificador de la ruta, el cual se encuentra relacionado con la tabla rutas.
- *NumCuadro*: es el número del cuadro de trabajo con el que se trabajará.
- *NumUnidad*: es el número de la unidad a la que se le asigna la ruta.
- *FechaT*: es la fecha para la que se cargará esa ruta.
- *IdCuadroT*: es el identificador del cuadro de trabajo, el cual se incrementa automáticamente y no puede repetirse bajo ninguna circunstancia.

IdRuta	NumCuadro	NumUnidad	FechaT	IdCuadroT
OTA01	0	29	2010-03-17	139
OTA02	0	45	2010-03-17	140
OTA03	0	46	2010-03-17	141
OTA04	0	49	2010-03-17	142
OTA05	0	61	2010-03-17	143

Figura 3.13 Información de la Tabla Cuadro_Trabajo

3.2.1.3 Tabla Destinos

Contiene datos sobre el lugar y la hora de salida de todas las rutas; se la gestiona desde la pestaña *Tiempos Destinos* de la ventana de Administración expuesto en la Figura 3.5. Los datos que se almacenan en esta tabla son:

- *IdDestino*: es el número único en la tabla que identificará al destino.
- *IdRutaN*: es el identificador de la ruta que se relaciona con la tabla que lleva su nombre antes descrita.
- *LugarSalida*: indica el lugar de salida de la ruta.
- *HoraSalida*: indica la hora de salida de la ruta.

IdDestino	IdRutaN	LugarSalida	HoraSalida
1	1	OTAVALO	04:52:00
2	1	OTAVALO	06:46:00
3	1	OTAVALO	09:08:00
4	1	OTAVALO	11:32:00
5	1	OTAVALO	14:08:00
6	1	OTAVALO	16:32:00
7	1	IBARRA	05:32:00

Figura 3.14 Información de la Tabla Destinos

3.2.1.4 Tabla Lugares

En ésta tabla se almacenan los lugares de control y el tiempo de referencia que deben tardar las unidades en trasladarse de un punto de control a otro. Ésta tabla también se relaciona con la ventana Administración en la pestaña Lugares de Control.

Los datos que se almacenarán aquí son:

- *CodLugar*: es el número único en la tabla que identificará al lugar de control.
- *LugarControl*: es el nombre del lugar donde se realizará el control.
- *ReferenciaSalida*: es el lugar de referencia de salida desde donde se contará el tiempo de control.
- *TiempoControl*: es el tiempo que debe tardar la unidad en llegar hacia el lugar de control desde la referencia de salida.
- *DestinoLugar*: es el destino de la ruta para la que se esta ingresando los lugares de control.

CodLugar	LugarControl	ReferenciaSalida	TiempoControl	DestinoLugar
0	OTAVALO	OTAVALO	00:00:00	OTAVALO - IBARRA
1	COL. AGROPECUARIO	OTAVALO	00:06:00	OTAVALO - IBARRA
2	ATUNTAQUI	OTAVALO	00:22:00	OTAVALO - IBARRA
3	IBARRA	OTAVALO	00:40:00	OTAVALO - IBARRA
4	IBARRA	IBARRA	00:00:00	OTAVALO - IBARRA
5	STO. DOMINGO	IBARRA	00:23:00	OTAVALO - IBARRA
6	PEGUCHE	IBARRA	00:35:00	OTAVALO - IBARRA
7	OTAVALO	IBARRA	00:40:00	OTAVALO - IBARRA

Figura 3.15 Información de la Tabla Lugares

3.2.1.5 Tabla Registro_Tiempos

Aquí se almacenan los datos descargados desde el Módulo Usuario de cada unidad de transporte. Se vincula con la tabla de la ventana de gestión del sistema que se muestra en la Figura 3.4.

Los datos que lleva esta tabla son:

- *IdRegistro*: es el número único en la tabla que identificará el registro.
- *NumUnidad*: es el número de la unidad a la que pertenece el registro; se vincula con la tabla Unidades que se describirá más adelante.
- *IdRutaN*: es el identificador de la ruta vinculado con la tabla que lleva su mismo nombre.

- *CodLugar*: es el número que representa al código del lugar; el cual se vincula con la tabla lugares.
- *TiempoPermitido*: es el tiempo en el que no se producirán retrasos.
- *TiempoMarcado*: es el tiempo real en que la unidad pasó por el lugar de control.
- *MinRetraso*: es la diferencia entre el tiempo permitido y el marcado.
- *Fecha*: es la fecha en que realizó el recorrido.
- *Recorrido*: se tiene dos opciones de recorrido; uno normal y otro que no lo es. Un recorrido anormal se produce cuando el tiempo de la hora de salida es adelantado.

IdRegistro	NumUnidad	IdRutaN	CodLugar	TiempoPermitido	TiempoMarcado	MinRetraso	Fecha	Recorrido
6	1	22	0	10:00:00	10:00:00	0	2010-05-05	N
7	1	22	1	10:06:00	10:07:00	1	2010-05-05	N
8	1	22	2	10:22:00	10:22:00	0	2010-05-05	N
9	1	22	3	10:40:00	10:38:00	0	2010-05-05	N
10	1	20	0	10:48:00	10:48:00	0	2010-05-06	N
11	1	22	0	10:00:00	10:00:00	0	2010-05-05	N
12	1	22	1	10:06:00	10:07:00	1	2010-05-05	N
13	1	22	2	10:22:00	10:22:00	0	2010-05-05	N
14	1	22	3	10:40:00	10:38:00	0	2010-05-05	N

Figura 3.16 Información de la Tabla Registro_Tiempos

3.2.1.6 Tabla Retrasos

Se vincula con la ventana cancelar retrasos mostrado en la Figura 3.8. Los datos registrados aquí son:

- *IdRetraso*: es el número único en la tabla que identificará el retraso.
- *IdRegistro*: es el identificador del registro que se vincula con la tabla Registro_Tiempos.
- *Minutos*: es la cantidad de minutos de retraso generados en ese registro.
- *ValorPagar*: es la cantidad de minutos multiplicada por el valor de multa del retraso que actualmente es de 50 centavos.
- *Pagado*: representa al estado del pago; el cual puede ser SI, NO o JUSTIF que indica que el retraso ha sido justificado.
- *FechaPago*: es la fecha en que se realizó el pago.

IdRetraso	IdRegistro	Minutos	ValorPagar	Pagado	FechaPago
2	7	1	0.5	SI	2010-06-13 15:29:14
3	12	1	0.5	JUSTIF	2010-06-13 15:29:12
4	17	1	0.5	SI	2010-06-13 15:29:14
5	22	8	4	SI	2010-05-07 12:52:50
6	26	1	0.5	SI	2010-05-07 12:52:50

Figura 3.17 Información de la Tabla Retrasos

3.2.1.7 Tabla Unidades

Ésta tabla contiene datos sobre las unidades; se la gestiona desde la pestaña *Unidades* de la ventana de Administración mostrado en la Figura 3.5.

Los datos ingresados en ésta tabla son:

- *NumUnidad*: es el número de la unidad.
- *Propietario*: representa al nombre del propietario de la unidad.
- *Telef1*: es el número de teléfono del propietario.
- *Telef2*: indica un número de teléfono adicional del propietario.
- *Estado*: representa al estado de la unidad; mismo que puede ser Dañado, Disponible o Turismo.

NumUnidad	Propietario	Telef1	Telef2	Estado <small>Turismo, dañada, disponible</small>
1	CISNEROS MEJIA MARIA CRISTINA	06-292-8292	08-588-4937	DISPONIBLE
2		- -	- -	DISPONIBLE
3		- -	- -	DAÑADA
4		- -	- -	DISPONIBLE

Figura 3.18 Información de la Tabla Unidades

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO

Éste capítulo describe el proceso de implementación del PCT y las diferentes pruebas a las que fue sometido el prototipo para garantizar su correcto funcionamiento en un entorno real. Éstas pruebas principalmente fueron de alcance e interferencia.

4.1 CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO XBEE MEDIANTE UN PC ^[17]

La configuración del módulo XBee es importante, ya que necesita ciertos parámetros fundamentales para establecerse como transceiver dentro del PCT. Se configurarán parámetros como identificador de dispositivo y de red, modo de operación, tipo de dispositivo (coordinador ó dispositivo final), entre otros, que servirán principalmente para establecer una correcta comunicación entre el módulo XBee y el microcontrolador.

Para realizar la configuración se necesita una computadora con puerto serial, el software X-CTU y un circuito convertidor de niveles de voltaje RS232-TTL que se comportará como una interface entre la PC y el XBee como se observa en la Figura 4.1.

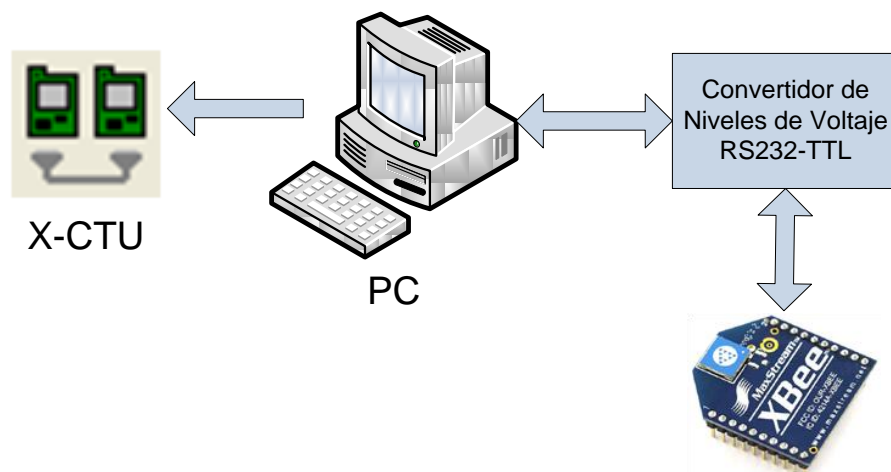


Figura 4.1 Esquema de conexión para la configuración del Módulo XBee

Los pasos a seguir para la configuración son los siguientes:

1. Conectar el XBee y el circuito convertidor de niveles de Voltaje (MAX232) mediante el cable serial hacia el computador como se muestra en el diagrama de la Figura 4.2.

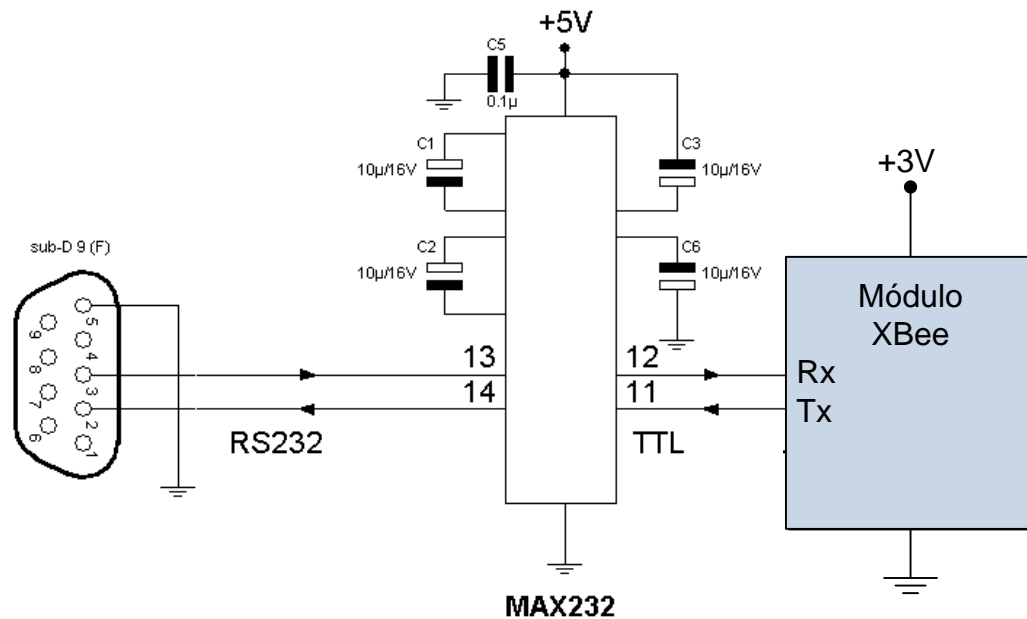


Figura 4.2 Diagrama de Conexión MAX232-XBee⁴²

2. Inicializar el programa X-CTU.
3. En la pestaña inicial de "PC Settings", se configura la velocidad, la paridad y el Control de flujo según lo deseado como se muestra en la Figura 4.3.

⁴² Diagrama sugerido por el fabricante del MAX232 acoplado al XBee

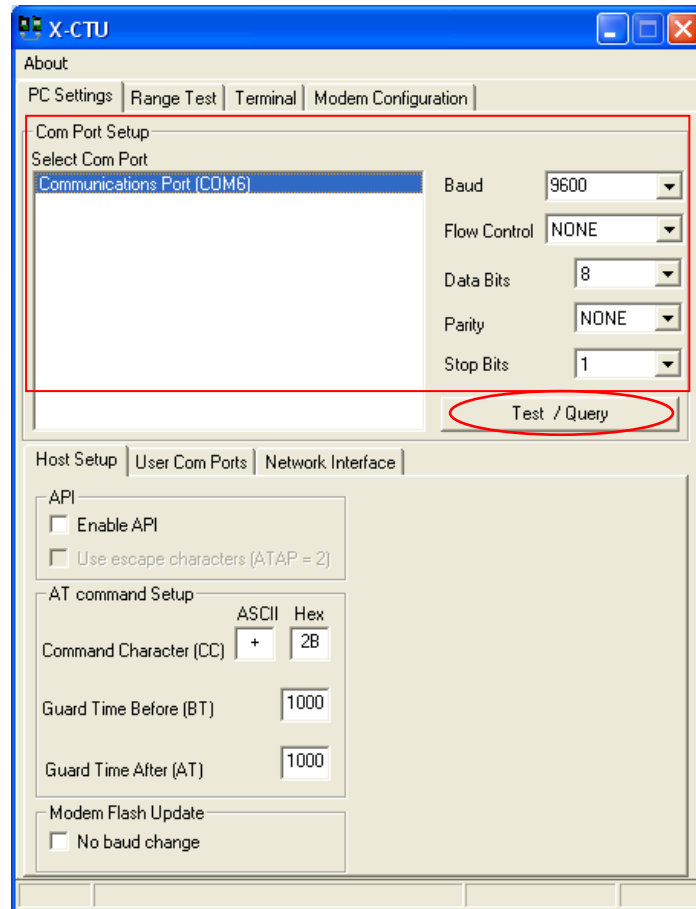


Figura 4.3 Software X-CTU

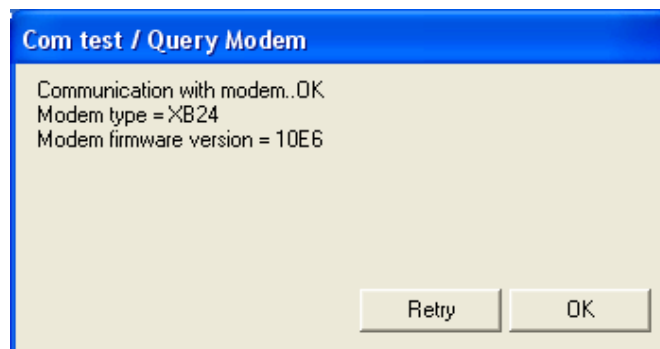


Figura 4.4 Mensaje de confirmación de conexión.

Para verificar presionar el botón que dice “Test/Query” y si la comunicación está bien aparecerá la siguiente ventana con la información del modelo del módem Xbee que se usa y la versión del Firmware mostrado en la Figura 4.4.; caso contrario deberá volverlo a intentar presionando el botón “Retry”.

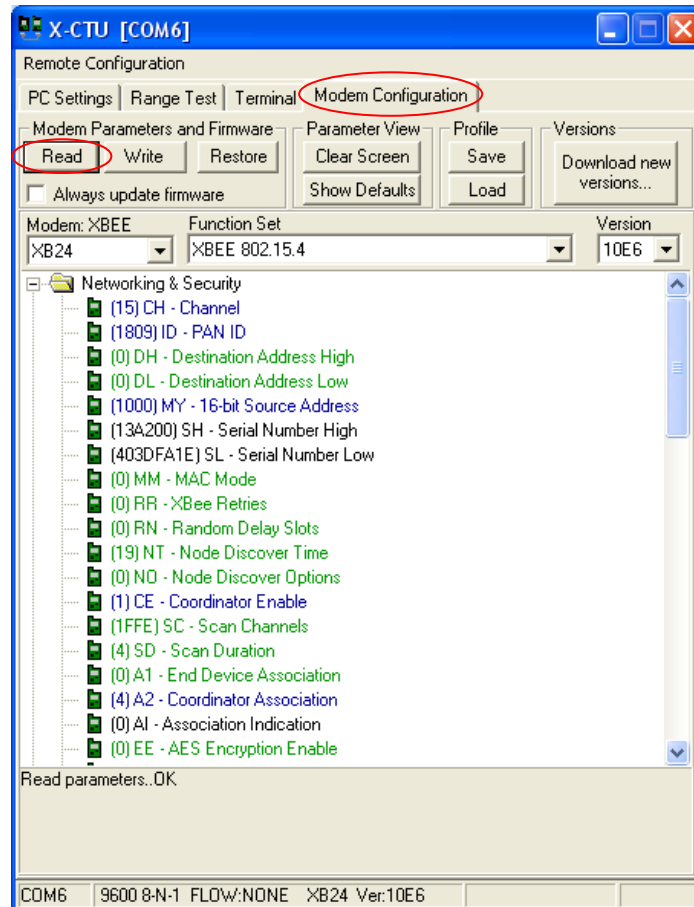


Figura 4.5 Parámetros de configuración del módulo XBee

4. Ahora, para la configuración del módulo, se accede a la pestaña “Modem Configuration” y se presiona el botón “Read” para obtener la configuración actual del XBee como se observa en la Figura 4.5.

Se modifican cada uno de los parámetros que se desean cambiar. Cuando se cambia uno, aparece en amarillo con el valor nuevo en el mismo nombre. Los parámetros configurados para cada módulo se muestran en la Tabla 4.1.

5. Una vez editados los parámetros, se presiona el botón “Write” y comienza a cargar los nuevos valores de los parámetros en el módulo; al finalizar aparecerá un mensaje en la parte inferior del software indicando que se ha completado la escritura en el módulo XBee tal como se aprecia en la Figura 4.6.

PARÁMETRO	VALOR Módulos Nódos y Máster	VALOR Módulo Usuario	SIGNIFICADO
CH	15	15	Establece el canal por el cual se realiza la conexión RF entre módulos. En la Tabla 1.2 se muestra la Frecuencia de los Canales. Defecto = 0x0C.
ID	1809	1809	Ajusta la dirección PAN del módulo. Defecto = 0x3332.
MY	1000	10XX	Configura la dirección de 16 bits para el módulo. Si My=0xFFFF o 0xFFFE, se habilita el modo de direccionamiento de 64 bit. Defecto = 0. (XX equivale al número de la unidad de transporte)
CE	1	0	Indica el comportamiento del módulo. 0 → Dispositivo Terminal. 1 → Coordinador. Defecto=0.
A2	4	0	Describe el modo de Asociación de un módulo utilizado como Coordinador (CE=1). Defecto=0.
A1	0	4	Describe el modo de Asociación de un módulo utilizado como Dispositivo Terminal (CE=0). Defecto=0.
BD	3	3	Ajusta la tasa de transmisión entre el módulo y su cliente conectado a través de la interfaz serial. 0 → 1200 4 → 19200 1 → 2400 5 → 38400 2 → 4800 6 → 57600. 3 → 9600 Defecto=3.
AP	1	1	Habilita el modo de operación API. 0 → Modo API Deshabilitado. 1 → Modo API habilitado. 2 → Modo API habilitado con carácter de escape. Defecto=0.

Tabla 4.1 Parámetros de configuración para los Módulos Master, Nodos y Usuario

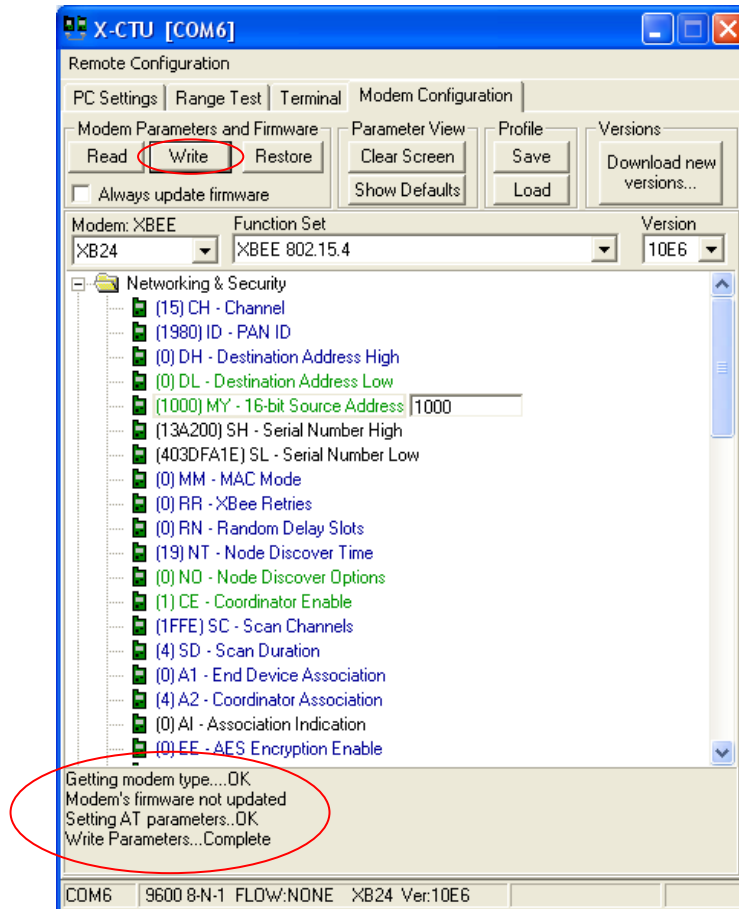


Figura 4.6 Escritura del Módulo XBee

Cuando el Módulo XBee ya ha sido configurado se lo colocará en la placa del módulo respectivo.

4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

Primeramente se procedió a verificar el valor teórico de la corriente calculada en el Capítulo II para los módulos usuario y nodo; obteniéndose los siguientes datos:

La variación es mínima con lo que se comprueba la validez de los cálculos.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento de los módulos construidos, se verificó que exista una adecuada comunicación, el alcance inalámbrico entre los mismos y hacia el software de gestión.

Componente	Corriente [mA] Módulos	
	Usuario	Nodo
Microcontrolador	18 @ 12MHz	18 @ 12MHz
Módulo Xbee	50	50
Diodo Led	40	20
GLCD	17	
EEPROM	3	
Reloj de Tiempo Real	1,5	
TOTAL Teórico	129,5	88
TOTAL Práctico	125	85

Tabla 4.2 Comparación Teórico - Práctica de Corrientes

Se empezó a montar los diferentes módulos del prototipo con todos sus elementos, haciéndose necesario realizar una extensión de 35 metros de cable en la conexión del transceiver y la demás circuitería del Módulo Máster para instalarlo en los exteriores de la Terminal Terrestre de la Cooperativa de Transportes “Otavalo” logrando así, una mayor cobertura del mismo; en la Figura 4.7 se indica la ubicación física del transceiver, mismo que está a una altura aproximada de cuatro metros.

El Módulo Máster se conecta al Software de Gestión a través del puerto USB de la computadora concedida para el funcionamiento del PCT, la cual está ubicada en la oficina de Contabilidad de la cooperativa en la ciudad de Otavalo.



Figura 4.7 Ubicación del transceiver del Módulo Máster

En la Figura 4.8 se muestra el Módulo Usuario que fue instalado en la Unidad de Transporte asignada para realizar las pruebas del sistema que se describirán más adelante; éste módulo debe ubicarse de manera que sea visible para el conductor y que no obstruya el alcance inalámbrico de los transceiver; los detalles de la instalación y uso de éste módulo se encuentran en el Anexo 3: Manual de Usuario PCT.



Figura 4.8 Módulo Usuario

La Figura 4.9 muestra uno de los cinco Módulos Nodos construidos que conforman el sistema, los cuales fueron instalados a una altura de entre cinco y seis metros en postes de la Empresa Eléctrica Regional Norte (EMELNORTE), ubicados en lugares estratégicos donde la Cooperativa de Transportes “Otavalo” ve conveniente realizar un control de tiempo tal como se indica en el mapa de la Figura 2.2, página 46.

Los lugares establecidos y el tiempo en minutos que deben cumplir se presentan en las Figuras 4.10 y 4.11:

El tiempo total del recorrido de terminal a terminal es de 40 minutos.

4.3 PRUEBAS REALIZADAS

Las pruebas se centran en verificar el alcance de los módulos XBee con obstáculos y sin ellos para poder determinar la máxima velocidad a la que deben pasar las unidades de transporte por cada punto de control y obtener la información de los módulos de forma confiable y sin errores.

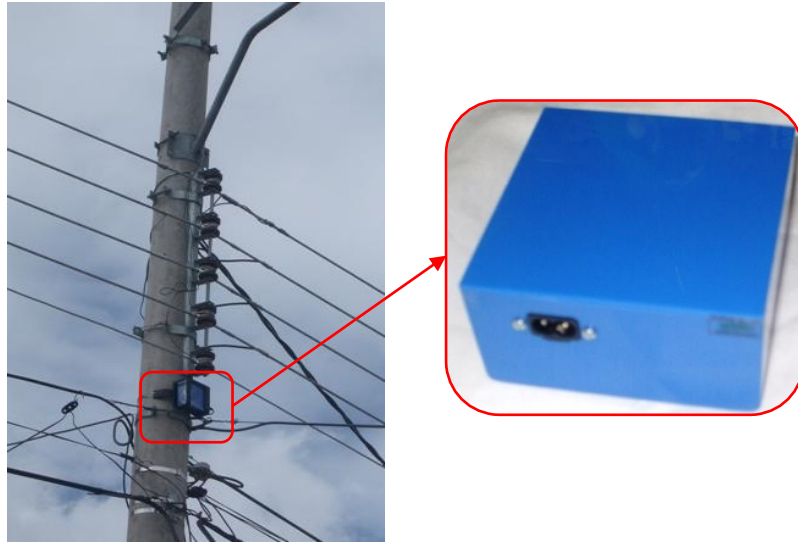


Figura 4.9 Módulo Nodo

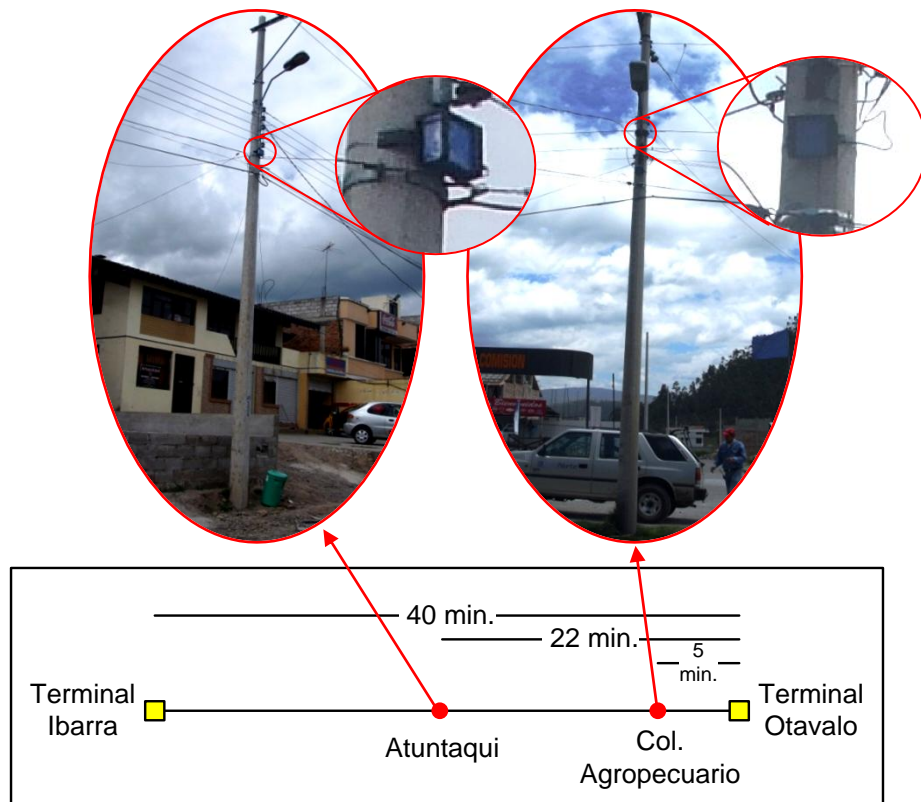


Figura 4.10 Tiempos del recorrido Otavalo – Ibarra

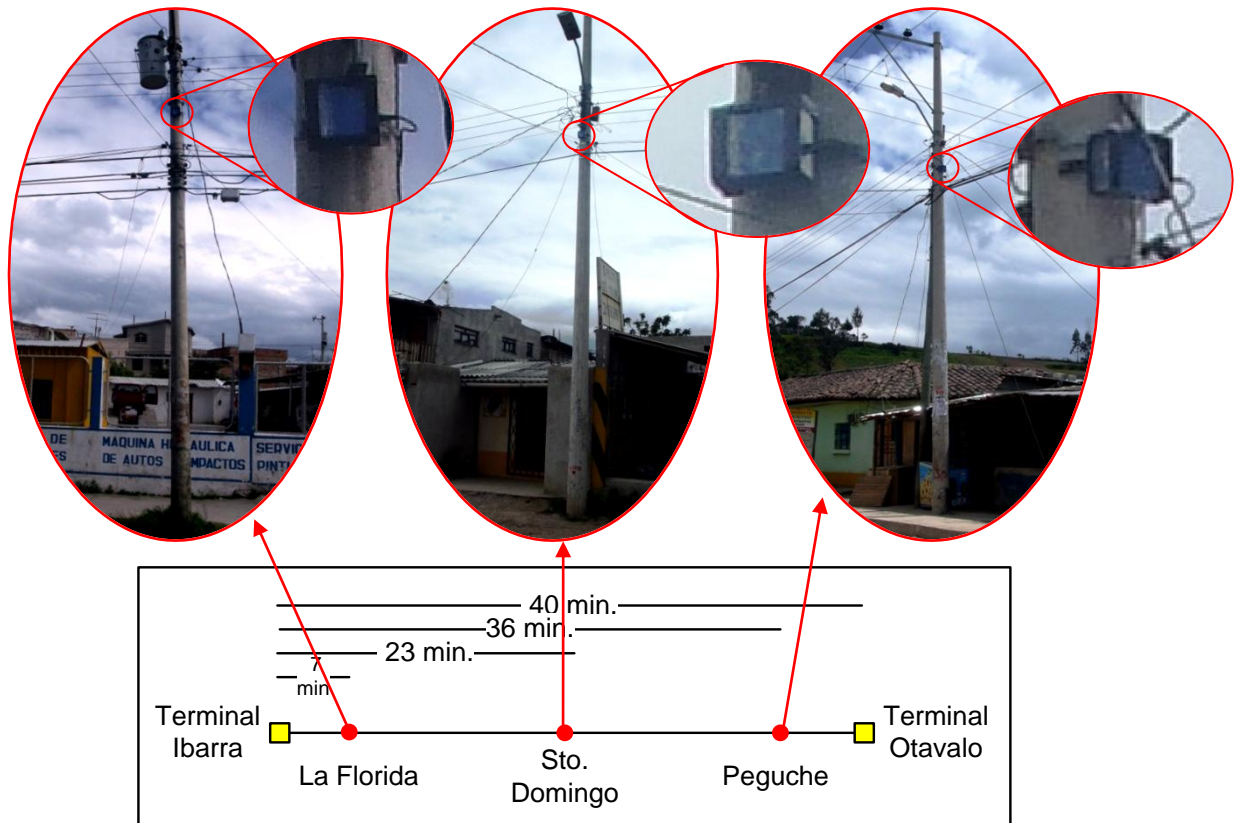


Figura 4.11 Tiempos del recorrido Ibarra – Otavalo

4.3.1 PRUEBAS DE ALCANCE INALÁMBRICO:

4.3.1.1 Alcance con obstáculos

Como se observa en el esquema de la Figura 4.12 se colocó un Módulo Nodo a una altura de 4,5 metros aproximadamente en un lugar rodeado de vegetación, obteniéndose como resultado un radio de alcance de 40 metros; por lo que la unidad de transporte debe pasar a una velocidad aproximada de 36 km/h para poder registrar el tiempo de su recorrido, esto se debe a que los módulos XBee empleados en el PTC emplean el método de acceso a la red CSMA-CA el cual es un proceso de tres fases en las que el emisor primero “escucha” para ver si la red está libre, después transmite el dato y finalmente espera un mensaje de confirmación por parte del receptor; lo cual le lleva un periodo de tiempo de 8 a 10 segundos para poder comunicarse entre ellos.

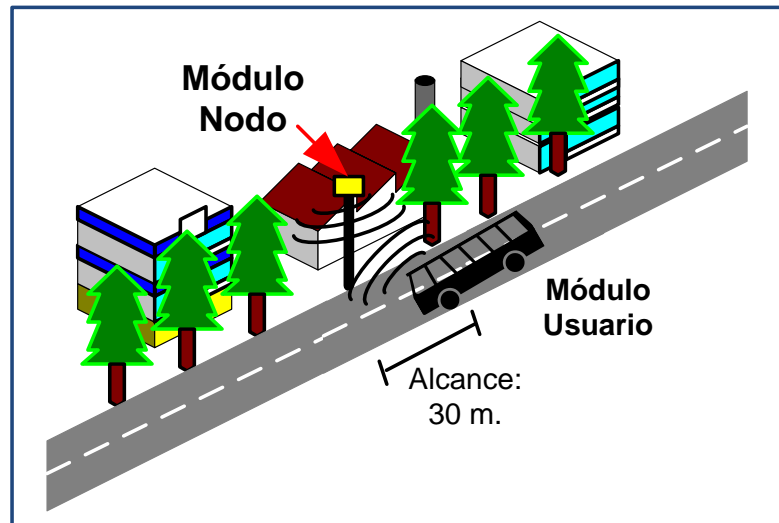


Figura 4.12 Esquema de pruebas realizadas con obstáculos

4.3.1.2 Alcance sin obstáculos

En la Figura 4.13 se puede apreciar que al colocar el Módulo Nodo a la misma altura de 4,5 metros y sin obstáculos horizontales, el radio de alcance aumenta notablemente en un 100% a lo largo de la carretera; es decir, alrededor de 80 metros, debiendo pasar la unidad de transporte a una velocidad aproximada de 72 Km/h por lo que su recorrido no se verá interrumpido para registrar el tiempo.

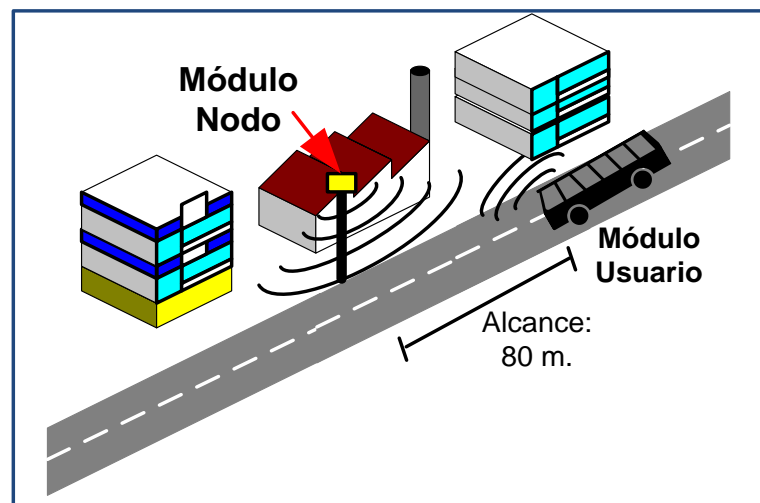


Figura 4.13 Esquema de pruebas realizadas sin obstáculos

En conclusión; para asegurar el óptimo funcionamiento del PTC se instaló los Módulos Nodo en postes cuyas líneas de voltaje sean de 110 voltios y que no

estén rodeados de vegetación o edificaciones que puedan obstaculizar el radio de alcance de la comunicación inalámbrica entre los dispositivos que lo conforman.

4.3.2 PRUEBAS DE INTERFERENCIA:

Al emplearse comunicación inalámbrica en el PTC éste se encontrará expuesto a una serie de posibles interferencias por lo que se realizó varias pruebas de alcance con equipos que funcionan a la misma frecuencia tales como dispositivos Bluetooth, teléfonos inalámbricos y un horno microondas; los resultados fueron satisfactorios, el alcance y la fidelidad de la comunicación no se vieron afectados; aunque es importante destacar que al acercar las antenas de los dispositivos hacia los módulos XBee, aparecen unas mínimas variaciones en el enlace.

Finalizadas las pruebas de alcance e interferencias es posible indicar la validez del prototipo y de la comunicación inalámbrica, pues trabaja de forma adecuada en condiciones estables (manteniendo los módulos con línea de vista; es decir sin obstáculos horizontales en la carretera) y comunes (temperatura ambiente, clima dentro de los límites de tolerancia, etc.) por lo cual se concluye que el prototipo es válido.

4.4 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Se realizará el cálculo de costos de implementación y mantenimiento anual del PTC para la Cooperativa de Transportes “Otavalo” así como también se hará una comparación con el sistema usado actualmente.

4.4.1 CALCULO DE COSTOS DEL PTC

4.4.1.1 Módulo usuario

El costo aproximado para construir cada Módulo Usuario es de 187,01 dólares (Tabla 4.3); en caso de llegarse a la producción en serie de dichos módulos, el costo disminuiría en un 5% aproximadamente; por lo que el costo de cada Módulo Usuario sería de 177,66 dólares.

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Total (\$)
1	Microcontrolador PIC18F4550	14,00	14,00
1	Módulo Xbee	45,00	45,00
1	Reloj Calendario DS1307	5,20	5,20
1	Memoria Serial 24LC256	5,90	5,90
1	Pantalla GLCD 128x64	45,00	45,00
6	Resistencia 1kohm 1/4W	0,03	0,18
1	Resistencia 330ohm 1/4W	0,03	0,03
1	Potenciómetro 10Kohm	0,25	0,25
1	Cristal 12MHz	0,90	0,90
1	Pulsador	0,25	0,25
1	Led Bicolor	0,60	0,60
1	Cristal 32768KHz	0,90	0,90
2	Condensador 22pF	0,10	0,20
2	Condensador 100uF	0,10	0,20
2	Condensador 10uF/25V	0,10	0,20
1	Regulador de voltaje 5V LM7805	0,65	0,65
1	Regulador de voltaje 3.3V LM1117	1,10	1,10
1	Pila 3V	1,35	1,35
1	Porta Pila 3V	0,80	0,80
1	Zócalo 40 pines	0,45	0,45
2	Zócalo 8 pines	0,25	0,50
1	Bornera 2 pines	0,60	0,60
1	Disipador de calor	0,75	0,75
1	Espadines	1,50	1,50
1	Circuito Impreso y Mano de Obra	30,00	30,00
1	Carcasa	18,00	18,00
1	Varios Tornillos	1,00	1,00
1	Conector para vehículo	1,50	1,50
1	Instalación y Mano de Obra	10,00	10,00
TOTAL (Incluido IVA)			187,01

Tabla 4.3 Costos de construcción Módulo Usuario (Fuente Propia)

4.4.1.2 *Módulo Nodo*

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Total (\$)
1	Microcontrolador PIC18F2550	12,00	12,00
1	Módulo Xbee	45,00	45,00
3	Resistencia 1kohm 1/4W	0,03	0,09
1	Resistencia 330ohm 1/4W	0,03	0,03
1	Cristal 12MHz	0,90	0,90
1	Led	0,12	0,12
2	Condensador 22pF	0,10	0,20
2	Condensador 100uF	0,10	0,20
3	Condensador 10uF/25V	0,10	0,30
1	Condensador 2200uF/25V	0,65	0,65
1	Regulador de voltaje 5V LM7805	0,65	0,65
1	Regulador de voltaje 3.3V LM1117	1,10	1,10
1	Puente Rectificador de diodos	0,60	0,60
1	Fusible 0,5A	0,25	0,25
1	PortaFusible	0,65	0,65
1	Zócalo 28pines	0,35	0,35
1	Conector 4 pines	0,55	0,55
1	Batería 9V	4,00	4,00
1	Porta Batería	0,45	0,45
1	Transformador 12V 600mA	4,35	4,35
1	Discipador de calor	0,75	0,75
1	Espadines	0,80	0,80
1	Conector tipo grabadora	0,80	0,80
1	Cable 110V	1,00	1,00
1	Circuito Impreso y Mano de Obra	25,00	25,00
1	Carcasa y varios tornillos	16,00	16,00
1	Base metálica	15,00	15,00
1	Instalación	10,00	10,00
TOTAL (Incluye IVA)			141,79

Tabla 4.4 Costos de construcción Módulo Nodo (Fuente Propia)

El costo de construcción de cada Módulo Nodo es de 141,79 dólares; tomando en cuenta que son cinco puntos de control en la ruta Otavalo – Ibarra, el costo total sería de 708,95 dólares.

4.4.1.3 Módulo Máster

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Total
1	Microcontrolador PIC18F2550	12,00	12,00
1	Módulo Xbee	45,00	45,00
3	Resistencia 1kohm 1/4W	0,03	0,09
1	Cristal 12MHz	0,90	0,90
2	Condensador 22pF	0,10	0,20
2	Condensador 10uF/25V	0,10	0,20
1	Regulador de voltaje 3.3V LM1117	1,10	1,10
1	Zócalo 28pines	0,35	0,35
1	Conector USB	2,35	2,35
1	Cable USB	2,75	2,75
1	Espadines	0,80	0,80
1	Circuito Impreso y Mano de Obra	20,00	20,00
1	Carcasa	12,00	12,00
1	Varios Tornillos	1,00	1,00
1	Instalación	15,00	15,00
TOTAL (Incluye IVA)			113,74

Tabla 4.5 Costos de construcción Módulo Máster (Fuente Propia)

El costo de construcción del Módulo Máster es de 113,74, a esto se le suma el costo del Software de Gestión que es de 2000,00 dólares.

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
60	Módulos Usuario	177,66	10659.60
5	Módulos Nodo	141.79	708.95
1	Módulo Máster	113.74	113.74
1	Software de Gestión	2000.00	2000.00
TOTAL			13482.29

Tabla 4.6 Costo Total de Implementación del Sistema (Fuente Propia)

El costo total de Implementación del sistema es de 13 482.29 considerando que son 60 unidades de transporte y se presenta en la Tabla 4.6:

4.4.2 COMPARACIÓN DE SISTEMAS

Para realizar el cálculo de costos de implementar y mantener el sistema PTC se consideran 60 Módulos Usuario para cada unidad de transporte, cinco Módulos Nodo para los puntos de control y un Módulo Máster para la estación de descarga, entonces:

DESCRIPCIÓN	SISTEMA ACTUAL			SISTEMA PROPUESTO			IMPLEMENTACIÓN
	CANT	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	CANT	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	
Puntos de Control (Reloj Tarjetero)	5	600,00	3000,00	5	141,79	708,95	
Estación de Descarga	0	0,00	0,00	1	2113,74	2113,74	
Módulos Móviles	0	0,00	0,00	60	177,66	10659,60	
	Subtotal Implementación		3000	Subtotal Implementación		13 482,29	

Tarjetas	8030	0,01	80,30	0	0,00	0,00	MANTENIMIENTO ANUAL
Personal que opera el sistema	5	3168,00	15840,00	1	3168,00	3168,00	
Arriendo para Puntos de control	5	180,00	900,00	5	78,00	390,00	
Mantenimiento	1	185,00	185,00	1	20,00	20,00	
	Subtotal Mantenimiento Anual		17 005,30	Subtotal Mantenimiento Anual		3 578,00	
	TOTAL		20 005,30	TOTAL		17 060,29	

Tabla 4.7 Comparación de Costos entre sistemas (Fuente Propia)

De la Tabla 4.7, como sueldo para el personal que opera el sistema se considera el básico que es de 264,00 dólares de cuatro personas que trabajan como despachadores de las unidades de transporte y de una persona encargada de mantener los relojes tarjeteros sincronizados y en funcionamiento. En el caso del

PCT se necesitaría únicamente una persona para manejar el Software de Gestión.

El costo cancelado al mes por arrendamiento de espacio para relojes tarjeteros en domicilios particulares es de 15 dólares; con el PCT éste rubro disminuiría a 6,50 dólares ya que los puntos de control se instalarán en postes de la Empresa Eléctrica, la cual cobra por arrendamiento de poste 1,50 dólares al mes y por el consumo eléctrico un costo de 5 dólares por carga instalada.

En gastos de Mantenimiento se refiere a consumo de pilas para puntos de control a lo largo del año.

Como se aprecia en la Tabla 4.7 el costo de implementación del PTC es más alto que el sistema actual de adquisición de datos; sin embargo en lo que respecta a gastos de operación y mantenimiento, en el PTC se gasta menos que en el otro sistema; por lo que en el transcurso del tiempo siempre el PTC será menos costoso que el sistema actual de adquisición de datos.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se exhibió que la tecnología ZigBee, desde el punto de vista técnico, permite crear soluciones de bajo costo que requieren implementar redes que necesitan un ancho de banda reducido y bajo consumo de potencia.
- Se logró automatizar los procesos de generación y entrega de información acumulada en los recorridos mediante el software y hardware diseñados e implementados.
- Se incrementa la confiabilidad de la información entregada ya que se asegura la no intervención humana en el proceso de generación y entrega de la misma.
- El PCT podrá operar en casos de ausencia de energía ya que se prevé de sistemas de respaldos, tanto de información en los módulos usuarios como de energía en los módulos nodos.
- Disminuye la posibilidad de error en los cálculos de retrasos de tiempo en los recorridos ya que éste se lo realiza por software.
- La ventaja en costo del PCT sobre el sistema actual de relojes tarjeteros se basa en los costos de mantenimiento ya que se requiere menos intervención humana y al instalar los puntos de control en postes de la Empresa Eléctrica, se disminuyen los gastos de arriendo y de baterías.
- El uso del software de adquisición de datos es bastante simple y puede ser utilizado por cualquier persona que tenga acceso a el.
- Durante el proyecto se alcanzaron los diferentes objetivos planteados, exponiendo las prestaciones del protocolo ZigBee y demostrando la factibilidad de un prototipo inalámbrico de control de tiempo y de adquisición de datos. Se espera que el prototipo presentado sea mejorado

de forma continua y llegue a ser utilizado. Igualmente, se pretende que el presente trabajo sirva de base para crear más proyectos más que utilicen la tecnología ZigBee.

- El presente trabajo ha servido para afirmar los conocimientos adquiridos en las aulas, especialmente en lo que se refiere a electrónica, sistemas microprocesados, programación y redes de comunicación.
- Se justifica el desarrollo del proyecto ya que se logró diseñar un sistema más eficiente, confiable y económico que el sistema que se usa actualmente en el control de tiempo de las unidades de transporte público.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se podrá lograr una mejor conectividad entre los módulos si el transceiver del Módulo Usuario es instalado en el parabrisas del vehículo; ya que se estaría evitando la interferencia que existe con la carrocería del mismo.
- Se podría disminuir en un 80% el tiempo de acoplamiento (8 a 10 segundos) entre los módulos XBee, ya que al momento han salido al mercado una serie mejorada denominada "XBee Series 2" a los empleados en el presente trabajo que son Serie 1; por lo que se recomienda emplear ésta nueva serie que mejorará notablemente el desempeño de la red ZigBee.
- Para brindar servicios de consultas remotas a los usuarios se recomienda migrar la aplicación de escritorio del Sistema de Gestión de Información a una aplicación WEB, alojando la base de datos en un servidor que ofrezca éste servicio y que garantice las seguridades requeridas.

- El software de gestión de información puede mejorarse de manera que el cuadro de trabajo se genere automáticamente una vez que sean ingresadas todas las rutas y destinos en las cuales brinda su servicio la Cooperativa de Transportes “Otavalo”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOCUMENTOS EN INTERNET

- [1] Wikipedia. (2009). *ZigBee, IEEE 802.15.4*. Recuperados de:
<http://es.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4

- [2] Oyarce, A. (2009). *Guía de Usuario del módulo XBee en español*. Recuperado de: http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf

- [3] DomoDesk. (2009). *A fonfo: ZigBee*. Recuperado de:
<http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=21&c=47>

- [4] National Instruments. (2009). *Zibgee*. Recuperado de:
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7118>

- [5] Zigbee.es. (2009). *ZigBee-Información*. Disponible en:
<http://www.zigbee.es/wp/>

- [6] Freescale Semiconductor, Electrocomponentes S.A. (2009). *Tecnología ZigBee. Un mundo de soluciones inalámbricas*. Recuperado de:
<http://www.electrocomponentes.com/articulos/diciembre06/ZigBee.html>

- [7] Mayné, J. (2009). *IEEE 802.15.4 y ZigBee*. Recuperado de:
http://www.bairesrobotics.com.ar/data/ieee_zigbee_silica.pdf

- [8] García, C. (2009). *Zigbee, Comunicación para Dispositivos*. Recuperado de: <http://www.sg.com.mx/content/view/392>

- [9] Narváez, C. (2009). *Reloj de Tiempo Real*. Recuperado de: <http://www.bolivar.udo.edu.ve/microinternet/articulos/Reloj%20de%20Tiempo%20Real%20DS1307.pdf>
- [10] Microchip. (2009). *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet*. Recuperado de: ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf
- [11] Digi. (2008). *Manual XBee*. Recuperado de: http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_B.pdf
- [12] Microchip. (2009). *EEPROM 24LC256 Data Sheet*. Recuperado de: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21203Q.pdf>
- [13] PicManía by RedRaven. (2009). *El USB desencadenado: CDC USB*. Recuperado de: http://picmania.garcia-cuervo.net/usb_3_cdctransfers.php
- [14] Ashram-Astaroth (2009). *Módulo UART Comunicación Serial*". Recuperado de: <http://www.ashram-astaroth.tk/articulos/modulo-uart-comunicacion-serial.html>
- [15] Carletti, E. (2009). *Comunicación Bus I²C*. Recuperado de: http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_busI2C.htm
- [16] Wikipedia. (2009). *USB communications device class*. Recuperado de: http://en.wikipedia.org/wiki/USB_communications_device_class
- [17] Digi. (2009). *X-CTU Configuration & Test Utility Software*. Recuperado de: http://ftp1.digi.com/support/documentation/90001003_A.pdf

- [18] Moreno, C., "Construcción de una red ZigBee prototipo para la adquisición de datos desde transmisores de corriente de dos hilos". Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Marzo. 2009.
- [19] Reinoso, E., "Diseño e implementación de un prototipo para una red de domótica y seguridad para un hogar utilizando el estándar IEEE 802.15.4 'ZigBee'". Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Noviembre. 2008.
- [20] Andrango, W., Borja, E., "Diseño e implementación de una red inalámbrica para sufragio electrónico basada en el estándar ZIGBEE (IEEE802.15.4)". Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Marzo. 2007.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

API: Application Programming Interface

CCS: Custom Computer Services, Inc.

CDC: Communications Devices Class (Clase de Dispositivos de Comunicaciones).

CSMA-CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Prevención de Colisiones).

DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum (Espectro Ensanchado por Secuencia Directa).

EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read Only Memory (Memoria solo de lectura programable y borrable eléctricamente).

FFD: Full Function Device (Dispositivos de Funcionalidad Completa).

I2C: Inter-Integrated Circuit (Circuitos Inter-Integrados).

ID: Identificador de Red.

IDE: Integrated Development Environment. (Entorno de Desarrollo Integrado).

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

INTCON: Interrupt Control Register (Registro de Control de Interrupciones)

IPR: Peripheral Interrupt Priority Register (Registro de Prioridad de Interrupciones Periféricas).

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

ISR: Interrupt Service Routine (Rutina de Servicio de Interrupción).

LCD: Liquid Crystal Display (Pantalla de Cristal Líquido).

MAC: Media Access Control (Control de Acceso al Medio).

MSSP: Master Synchronous Serial Port (Puerto Serial Síncrono Maestro)

OSI: Open Systems Interconnection (Sistema Abierto de Interconexión).

PAN: Personal Area Network (Red de Área Personal).

PCT: Prototipo de Control de Tiempo.

PDIP: Plastic Dual-In-line Package (Paquete Plástico en Línea Doble).

PIC: Peripheral Interface Controller (Periférico Controlador de Interfaz).

PIE: Peripheral Interrupt Enable Register (Registro de Activación de Interrupción de Periféricos).

PIR: Peripheral Interrupt Request (Flag) Register (Registro de Solicitud de Interrupción de Periféricos).

RCON: Reset Control Register (Registro de Control de Reinicio).

RFD: Reduce Function Device (Dispositivos de Funcionalidad Reducida).

RTC: Real Time Clock (Reloj de Tiempo Real).

SCL: Serial Clock (Reloj Serial).

SDA: Serial Data (Dato Serial).

SPI: Serial Peripheral Interface (Interfaz de Periféricos en Serie).

SRAM: Static Random Access Memory (Memoria Estática de Acceso Aleatorio).

USART: Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (Transmisor y Receptor Síncrono/Asíncrono Universal)

USB: Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie)

XBee: Módulo de radio frecuencia con protocolo IEEE 802.15.4/ZigBee fabricado por MAXSTREAM.

ZDO: ZigBee Device Objects (Objetos de Dispositivo ZigBee)