

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



## ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

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

INFORME TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

AUTORA: MARÍA CRISTINA CISNEROS MEJÍA

DIRECTOR: ING. GERARDO COLLAGUAZO

Ibarra, Marzo 2011

## 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.

## 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 riegos, 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

I. SISTEMA MANUAL DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	5
II. SISTEMA AUTOMÁTICO DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	5
III. ZIGBEE <sub>[1]-[8]</sub> .....	6
IV. DISEÑO DEL HARDWARE DEL SCT .....	7
A. MÓDULO-USUARIO .....	8
B. MÓDULO-NODO .....	8
C. MÓDULO-MÁSTER .....	9
D. TRANSCEIVER DE RADIOFRECUENCIA XBEE <sub>[9]</sub> .....	10
V. DIAGRAMA DE FLUJO MICROCONTROLADORES .....	11
VI. SOFTWARE DE GESTIÓN DE DATOS .....	13
A. VENTANA DE ADMINISTRACIÓN .....	14
B. VENTANA PARA CARGAR RUTAS .....	14
C. VENTANA PARA CANCELAR RETRASOS .....	15
D. VENTANA PARA CARGAR EL CUADRO DE TRABAJO DIARIO .....	16
VII. BASE DE DATOS .....	17
VIII. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	17
A. PRUEBAS DE ALCANCE INALÁMBRICO: .....	19
1) Alcance con obstáculos .....	19
2) Alcance sin obstáculos .....	20
B. PRUEBAS DE INTERFERENCIA: .....	21
IX. CONCLUSIONES .....	21
X. RECOMENDACIONES .....	22
XI. AGRADECIMIENTOS .....	22
XII. REFERENCIAS .....	23

## I. SISTEMA MANUAL DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Las empresas de transporte interurbano por autobús en Ecuador, en su mayoría no disponen de un sistema autónomo que permita llevar el 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” (Fig. 1).

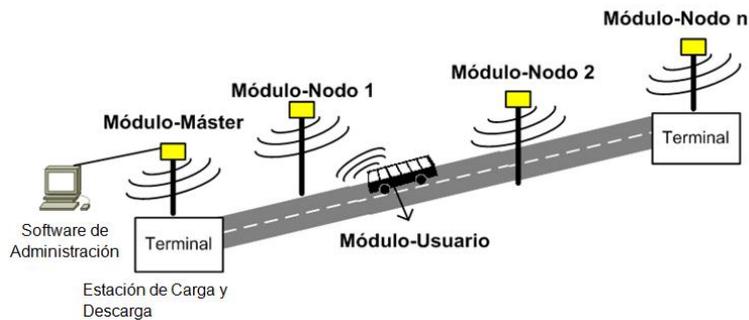


Fig. 1. Reloj Electromecánico “Tarjetero”

Estos sistemas electromecánicos con intervención de personal humano para ser accionados resultan laboriosos y representan costos elevados de adquisición, mantenimiento y personal de control, por lo que se propone un sistema autónomo de control de tiempo, que permita adquirir los datos sin manipulación externa, e inalámbricamente basado en la tecnología ZigBee, evitando también de esta manera el peligro al que se someten las personas encargadas de accionar el reloj electromecánico.

## II. SISTEMA AUTOMÁTICO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El esquema general del Sistema de Control de Tiempo (SCT) se muestra en la Fig. 2; en el cual se reemplazan los relojes electromecánicos por Módulos-Nodo y 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 sin que sea necesario esperar al fin de la jornada de trabajo.



**Fig. 2. Esquema General del SCT**

El Módulo-Usuario también incluye una pantalla gráfica LCD que se muestra en la Fig. 3, en la que el conductor podrá visualizar, entre otros datos, la fecha y hora actual y el tiempo aproximado en que deberá estar en el siguiente punto de control.



**Fig. 3. Pantalla GLCD del Módulo Usuario**

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 gestionando de mejor forma los procesos administrativos, esto se realizará mediante un software desarrollado específicamente para este fin.

### III. ZIGBEE<sub>[1]-[8]</sub>

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.

El protocolo ZigBee/IEEE 802.15.4 presenta las siguientes características que lo hace idóneo para éste sistema:

- Opera en las bandas libres ISM con 868 MHz en Europa, 915 MHz en Estados Unidos y 2,4 GHz en todo el mundo.
- Tiene una velocidad de transmisión de 250 kbps y rango de cobertura de 10 a 750 metros dependiendo de la potencia de transmisión.
- Se basa en la arquitectura Maestro/Esclavo.
- 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.
- 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.
- Presenta un bajo consumo de energía y bajo costo de los dispositivos, instalación y mantenimiento de la red.

#### **IV. DISEÑO DEL HARDWARE DEL SCT**

En el desarrollo del SCT se tomó en cuenta los siguientes requerimientos a los que debe responder:

- Registrar el tiempo de cada unidad automáticamente.
- Carga y descarga de información de manera inalámbrica.
- Garantizar la disponibilidad del servicio en condiciones adversas.
- Avalar que la información no sea manipulada por personal no autorizado.

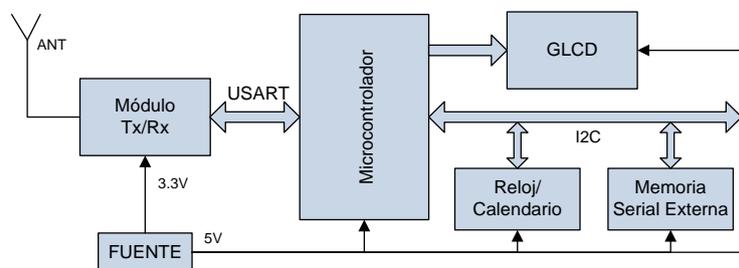
Como ya se mencionó anteriormente, el SCT consta de tres tipos de módulos:

## A. MÓDULO-USUARIO

Este es móvil ya que se encuentra en cada unidad de transporte. Posee una memoria serial externa (EEPROM<sup>1</sup>) 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.

El Módulo-Usuario también descarga los datos que han sido almacenados al pasar por cada Módulo-Nodo ó punto de control de manera inalámbrica y al final de cada recorrido.

En la Fig. 4 se presenta el diagrama de bloques de éste módulo.



**Fig. 4. Diagrama de Bloques Módulo-Usuario**

El Módulo-Usuario se compone de un módulo de RF<sup>2</sup> (ZigBee) que se ocupa de la Tx/Rx<sup>3</sup> de datos, un reloj calendario con batería de respaldo, una memoria serial externa donde los datos son almacenados permanentemente hasta ser descargados, una pantalla gráfica LCD que es la interfaz entre el módulo y el usuario, además del microcontrolador con toda la circuitería adicional para su funcionamiento y la fuente de alimentación.

## B. MÓDULO-NODO

Reemplazan a los relojes electromecánicos; es decir, se encuentran ubicados de manera fija en lugares estratégicos, a lo largo del recorrido, en los que las cooperativas de transporte han creído conveniente realizar un control de tiempo.

<sup>1</sup> Es un tipo de memoria que puede ser programada, borrada y reprogramada eléctricamente.

<sup>2</sup> RF = Radiofrecuencia.

<sup>3</sup> Tx/Rx = Transmisión/Recepción.

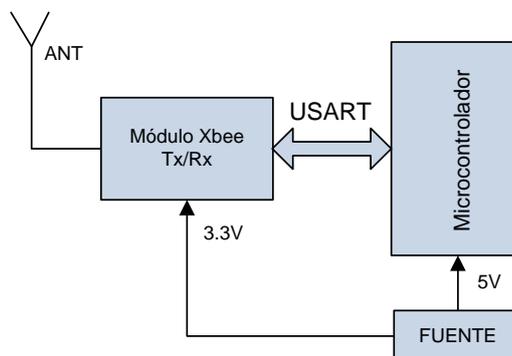
Éstos módulos no se comunican con el Módulo-Máster, únicamente lo hacen con el Módulo-Usuario y envían periódicamente códigos que le permiten:

- Conocer el lugar donde se encuentran, y
- Almacenar en su EEPROM el tiempo en que la unidad pasó por ese punto de control.

En la Fig. 5 se presenta el diagrama de bloques de éste módulo, el cual es sencillo ya que se compone únicamente 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.

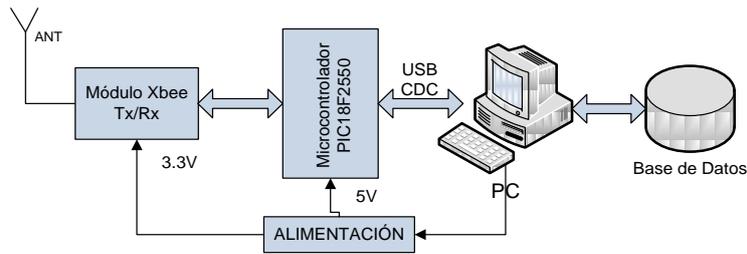
### C. MÓDULO-MÁSTER

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 de acuerdo a la tabla que maneja la empresa.



**Fig. 5. Diagrama de Bloques Módulo-Nodo**

Éste módulo está conformado por el circuito de RF (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.



**Fig. 6. Diagrama de Bloques Módulo-Máster**

#### D. TRANSCEIVER DE RADIOFRECUENCIA XBEE<sup>[9]</sup>

El módulo transceptor ó transceiver de radiofrecuencia empleado en el SCT es el XBee fabricados por MaxStream mostrado en la Fig. 7, el cual trabaja en la banda de 2.4 GHz con protocolo de comunicación 802.15.4 ó Zigbee.



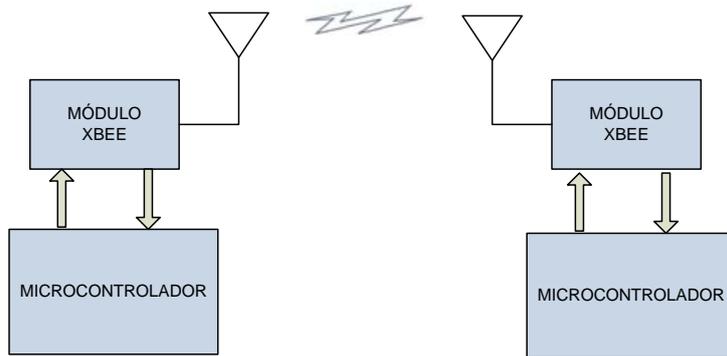
**Fig. 7. Módulo XBee de MaxStream**

El módulo XBee se conecta directamente a los pines Rx y Tx del microcontrolador, 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 usuario.

Los módulos XBee pueden ser programados a través del hyperterminal y una interface serial con un MAX232<sup>4</sup> y una serie de comandos llamados AT.

<sup>4</sup> Circuito Integrado convertidor de niveles de voltaje TTL a RS232 y viceversa.



**Fig. 8. Diagrama de bloques, conexión módulos XBee**

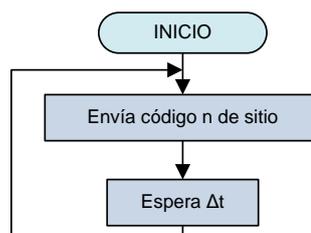
Existen dos tipos de interfaces, serial y USB, que pueden ser utilizadas para programar los módulos XBee con un software propietario llamado X-CTU. Con este software se puede definir de una forma rápida todos los parámetros que se quiera modificar en los módulos.

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.

## V. DIAGRAMA DE FLUJO MICROCONTROLADORES

A continuación se presentan los diagramas de flujo de los programas del módulo nodo, usuario y máster en las figuras: Fig. 9, Fig. 10 y Fig. 11 respectivamente a implementarse en los microcontroladores que mandan el SCT.



**Fig. 9. Diagrama de flujo Módulo-Nodo**

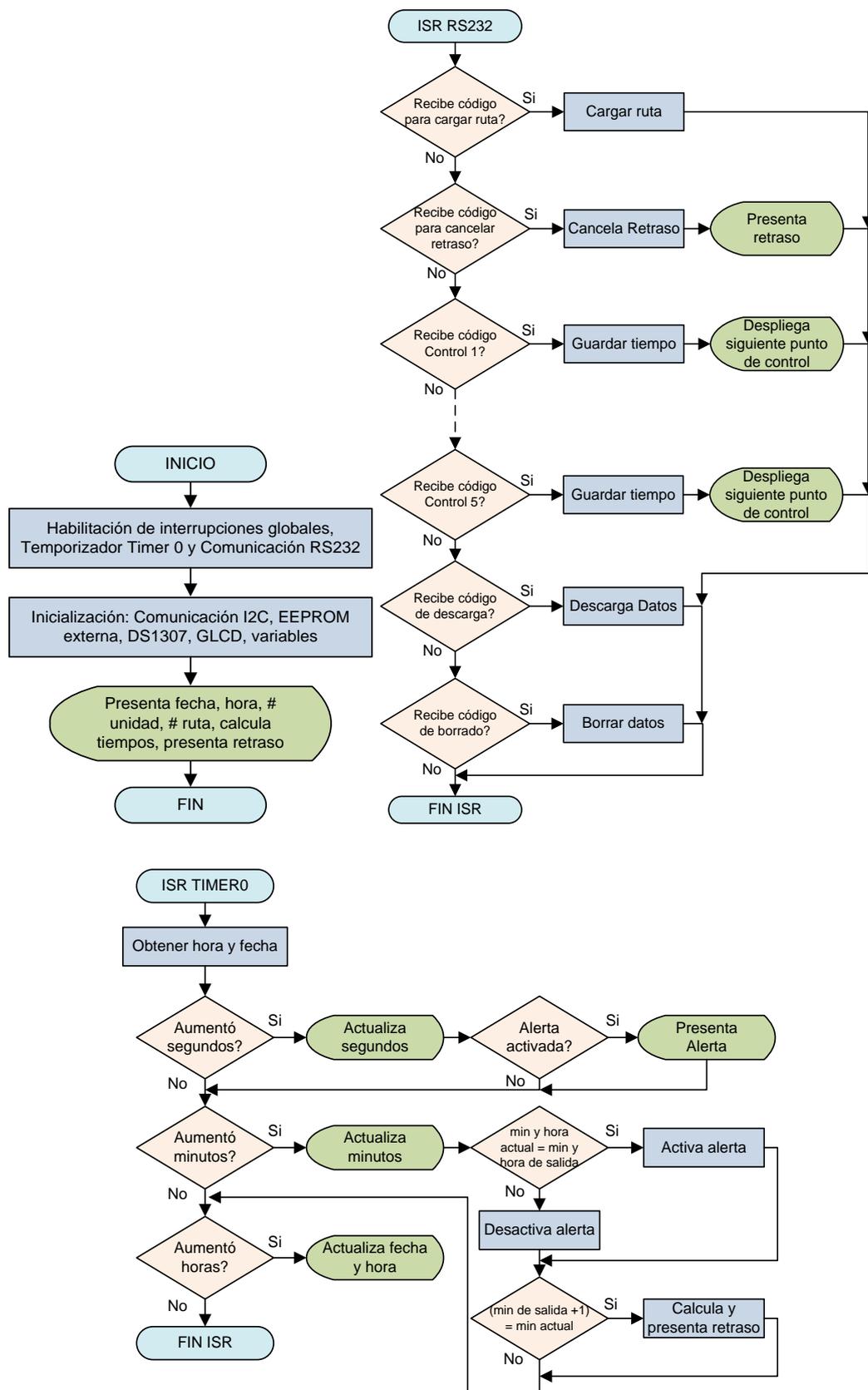
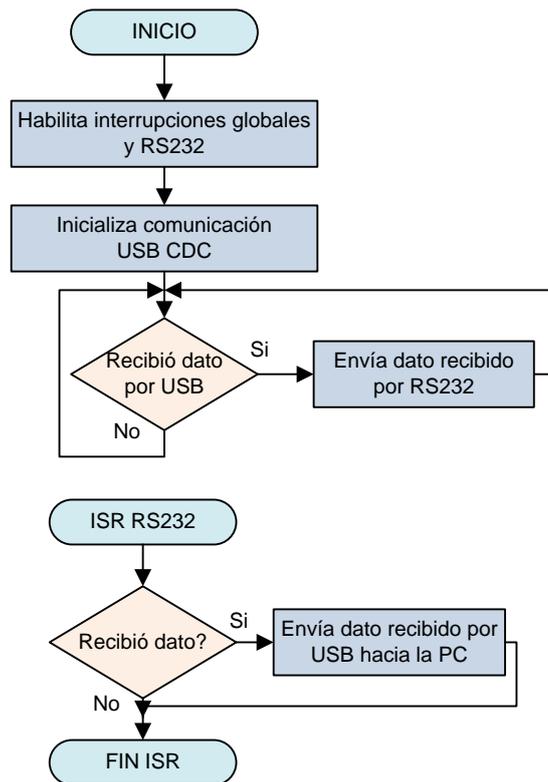


Fig. 10. Diagrama de flujo Módulo-Usuario



**Fig. 11. Diagrama de flujo Módulo-Máster**

## VI. SOFTWARE DE GESTIÓN DE DATOS

La aplicación está desarrollada en el lenguaje de programación Java sobre la plataforma NetBeans IDE 6.8.

En la Fig. 12 se puede apreciar la ventana principal del software, misma que 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.

En la parte inferior posee botones para ingresar a las ventanas de *Administración*, *Cargar Ruta*, *Cancelar Retraso* y *Cuadro de Trabajo*.



**Fig. 12. Ventana Principal del Software**

#### A. VENTANA DE ADMINISTRACIÓN

Esta ventana sirve para gestionar todos los datos de la empresa de transportes, datos como rutas, lugares de control, tiempos de los destinos e información sobre las unidades.

#### B. VENTANA PARA CARGAR RUTAS

Esta 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*, tal como se muestra en la Fig. 13.

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 las empresas de transportes; 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.



Fig. 13. 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 o incorrecta de la ruta.

### C. 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 cargarán en la tabla de la ventana los retrasos existentes como se muestra en la Fig. 14; 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.

Al presionar el botón *PAGAR*, ofrece la opción de imprimir un comprobante de pago de los retrasos cometidos como se puede apreciar en la Fig. 15, 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.

SCT - Cancelar Retraso

**CANCELAR RETRASO**

Seleccione Número de Unidad: 1 val/min: 0.50

#	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:...

Minutos de Retraso: **4** Valor a pagar: **\$ 2.0**

Justificar R. PAGAR SALIR

Fig. 14. Ventana para Cancelar Retrasos

```

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

```

Fig. 15. Comprobante de pago de Retraso

#### D. VENTANA PARA CARGAR EL CUADRO DE TRABAJO DIARIO

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

## VII. 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.

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.

## VIII. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

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.

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 Fig. 16 se indica la ubicación física del transceiver, mismo que está a una altura aproximada de cuatro metros.



Fig. 16. Ubicación del transceiver del Módulo Máster

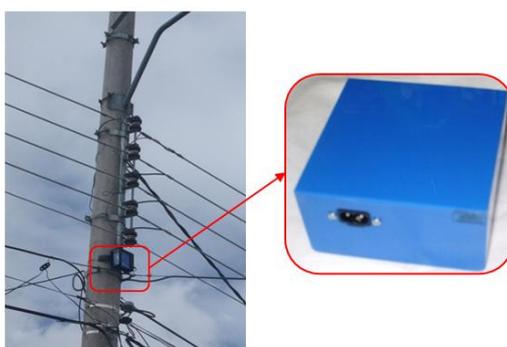
El Módulo Máster se conecta al Software de Gestión a través del puerto USB de la computadora concedida para el funcionamiento del SCT, la cual está ubicada en la oficina de Contabilidad de la misma cooperativa en la ciudad de Otavalo.

En la Fig. 17 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.



**Fig. 17. Módulo Usuario**

La Fig. 18 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 Fig. 19.



**Fig. 18. Módulo Nodo**

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



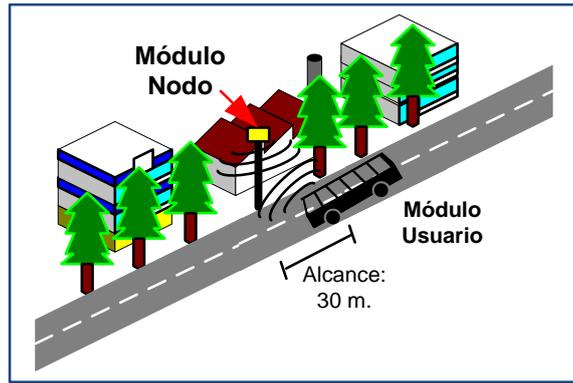
**Fig. 19. Ubicación Real de los Puntos de control**

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.

#### *A. PRUEBAS DE ALCANCE INALÁMBRICO:*

##### 1) Alcance con obstáculos

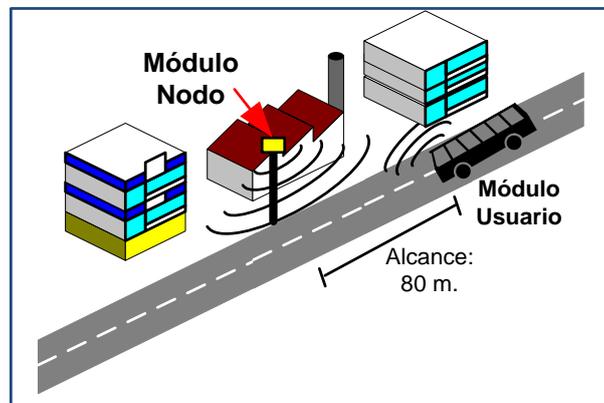
Como se observa en el esquema de la Fig. 20 se colocó un Módulo Nodo a una altura de 5 metros aproximadamente en un lugar rodeado de vegetación, obteniéndose como resultado un radio de alcance de 40 metros; por lo que la unidad de transporte debe pasar a una velocidad aproximada entre 30 y 40 km/h para 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.



**Fig. 20. Esquema de pruebas realizadas con obstáculos**

2) Alcance sin obstáculos

En la Fig. 21 se puede apreciar que al colocar el Módulo Nodo a la misma altura de 5 metros y sin obstáculos horizontales, el radio de alcance aumenta notablemente en un 100% a lo largo de la carretera; es decir 80 metros aproximadamente, debiendo pasar la unidad de transporte a una velocidad de 72 Km/h por lo que su recorrido no se verá interrumpido para registrar el tiempo.



**Fig. 21. Esquema de pruebas realizadas sin obstáculos**

En conclusión; para asegurar el óptimo funcionamiento del SCT 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.

## ***B. PRUEBAS DE INTERFERENCIA:***

Al emplearse comunicación inalámbrica en el SCT 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 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 sistema 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 sistema es válido.

## **IX. CONCLUSIONES**

- 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 SCT 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.
- 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, que actualmente se encuentra en funcionamiento en la Cooperativa de Transportes “Otavalo” de la Provincia de Imbabura.

## **X. RECOMENDACIONES**

- En la estación de descarga de información se recomienda evitar el uso de hornos microondas ya que ocasiona retardos en el proceso de descarga de registros de tiempo desde las unidades de transporte.
- Para una mejor cobertura inalámbrica de los módulos nodo, se recomienda instalarlos en lugares donde no haya objetos que puedan disminuir la línea de vista a lo largo de la carretera en un radio de 100 metros; por lo que se sugiere aprovechar la infraestructura de la Empresa Eléctrica e instalarlos en sus postes de alumbrado público a una altura de entre 5 y 7 metros.
- Se recomienda cambiar la batería de respaldo del Reloj de Tiempo Real del Módulo Usuario una vez al año.
- Para abaratar costos de consumo de energía eléctrica en los módulos nodo, se podría utilizar baterías recargables de gel ya que tienen una larga vida útil y requerirían una carga al año debido al bajo consumo de éste módulo.
- Para mejorar el tiempo de enlace entre los módulos nodo y usuario se recomienda utilizar los transceiver XBee series 2.

## **XI. AGRADECIMIENTOS**

Agradezco la colaboración brindada por la Cooperativa de Transportes “Otavalo” por las facilidades prestadas en las pruebas realizadas y en el acceso a los datos de la cooperativa; a la Empresa Eléctrica Regional Norte agencias Otavalo e Ibarra por su colaboración en la instalación de los módulos nodos en los postes de alumbrado público de la empresa y a mi familia por estar presente en todo momento brindandome apoyo incondicional.

## XII. REFERENCIAS

### 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](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](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). *Zigbee*. 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](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](http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf)
- [11] Digi. (2008). *Manual XBee*. Recuperado de:  
[http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982\\_B.pdf](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](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 I<sup>2</sup>C*. Recuperado de: [http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion\\_busI2C.htm](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](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](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.