

Control Inalámbrico de Tiempo para los recorridos en unidades de Transporte Público Terrestre

Cristina Cisneros M., Gerardo Collaguazo G., Universidad Técnica del Norte (UTN), Ibarra – Ecuador

Resumen – El proyecto se centra en el diseño y construcción de un circuito electrónico programable compuesto de Hardware y Software para realizar el control de tiempo del recorrido de las unidades de Transporte Público de manera inalámbrica y automática basado en el estándar IEEE 802.15.4/ZigBee.

Este circuito se compone de tres clases de módulos: el *Módulo-Usuario* que almacena los datos registrados en los *n* puntos de control o *Módulos-Nodo* que existen a lo largo del recorrido; los datos generados serán descargados inalámbricamente a través del *Módulo-Máster* en una base de datos; permitiéndonos contar con información más confiable, eficaz y segura que el sistema que se usa en la actualidad en nuestro medio.

Índices – Comunicación Inalámbrica, Control de Tiempo, IEEE 802.15.4, ZigBee

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.

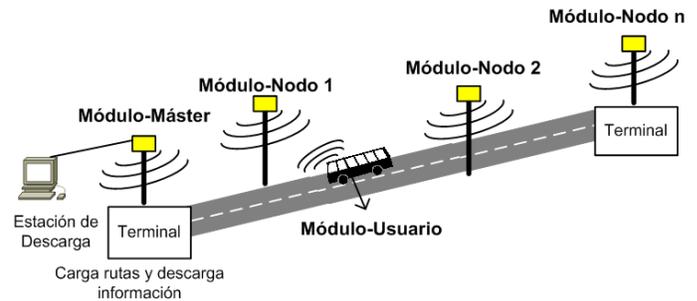


Fig. 2. Esquema General del SCT

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.



- | | |
|---|--|
| ① Fecha y hora actual | ③ U: Número de la unidad
R: Número de la ruta |
| ② Lugar y hora del siguiente punto de control | ④ Minutos de retraso |

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^{[1]-[8]}

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 (EEPROM¹) 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.

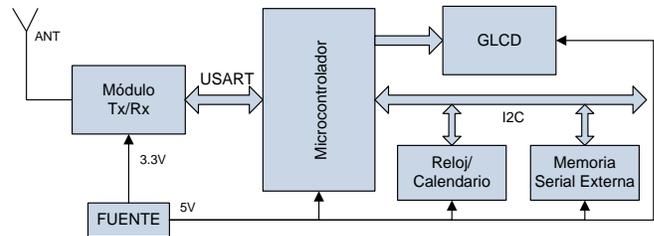


Fig. 4. Diagrama de Bloques Módulo-Usuario

El Módulo-Usuario se compone de un módulo de RF² (ZigBee) que se ocupa de la Tx/Rx³ 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.

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

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

² RF = Radiofrecuencia.

³ Tx/Rx = Transmisión/Recepción.

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.

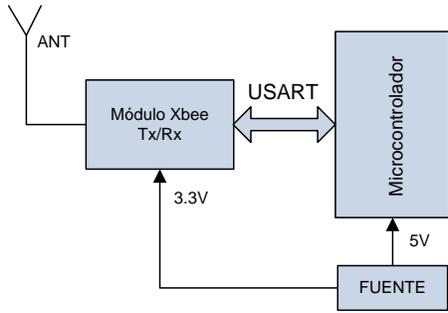


Fig. 5. Diagrama de Bloques Módulo-Nodo

Este 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.

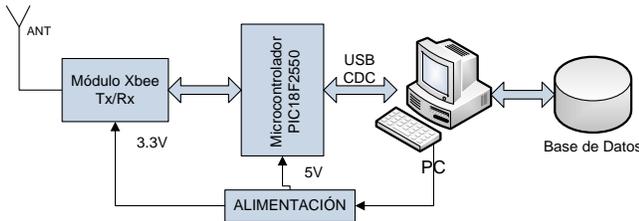


Fig. 6. Diagrama de Bloques Módulo-Máster

D. Transceiver de radiofrecuencia XBee^[9]

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.

Este 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 MAX232⁴ y una serie de comandos llamados AT.

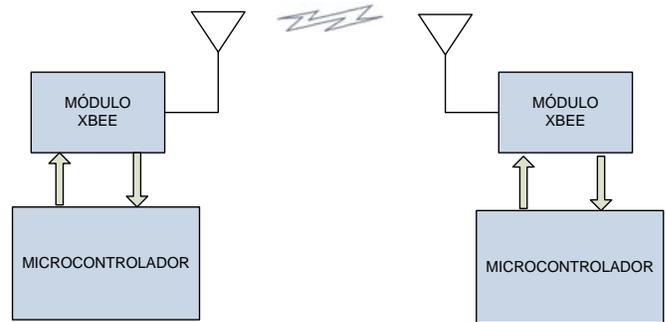


Fig. 8. Diagrama de bloques, conexión módulos XBee

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.

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.

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 Fig.9; 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.

⁴ Circuito Integrado convertidor de niveles de voltaje TTL a RS232 y viceversa.

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

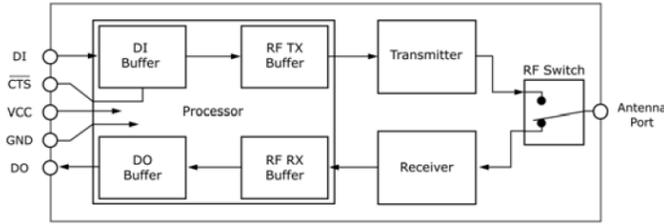


Fig.9. Diagrama Interno de Flujo de datos

V. DIAGRAMA DE FLUJO MICROCONTROLADORES

A continuación se presentan los diagramas de flujo de los programas del módulo máster, nodo y usuario en las figuras: Fig. 10,

Fig. 11 y Fig. 12, respectivamente a implementarse en los microcontroladores que comandan el SCT.

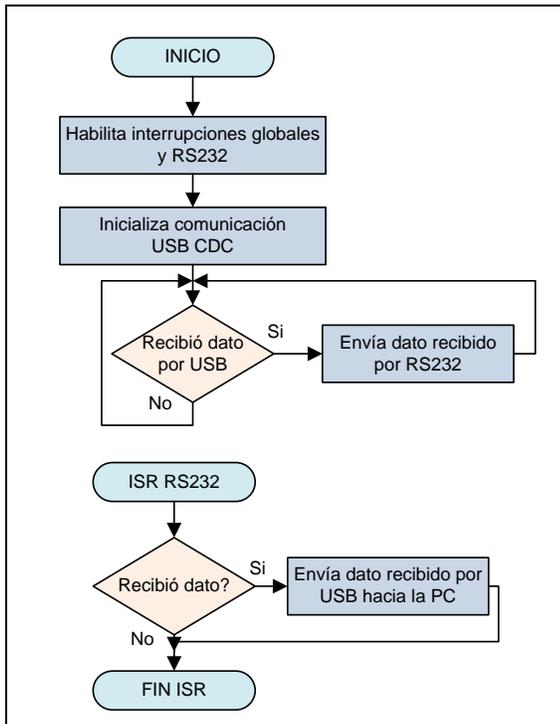


Fig. 10. Diagrama de flujo Módulo-Máster

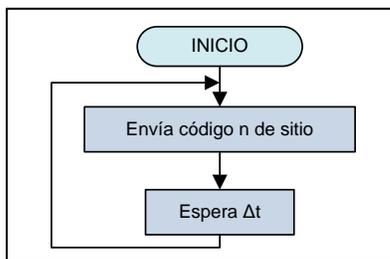


Fig. 11. Diagrama de flujo Módulo-Nodo

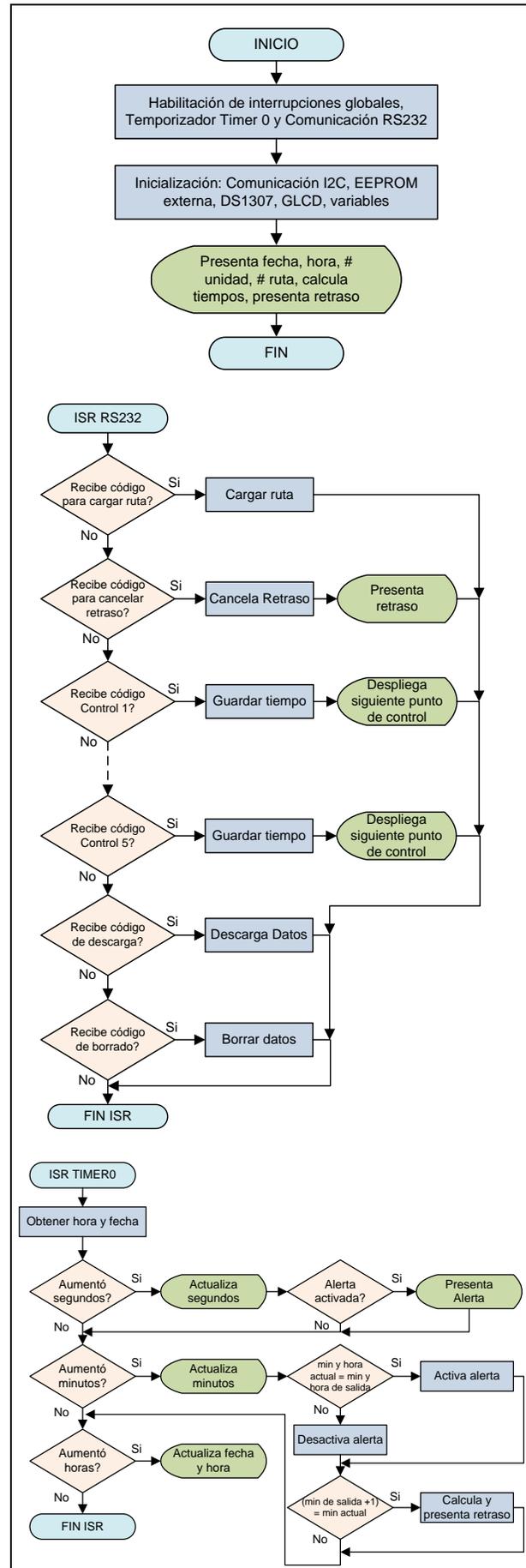


Fig. 12. Diagrama de flujo Módulo-Usuario

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. 13 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*.

Num Unidad	Id Ruta	Lugar Control	(P) Permitted	(M) Marked	Retraso (min)
1	OTA12	IBARRA	10:48:00	10:48:00	0
1	OTA12	STO. DOMINGO	11:11:00	11:19:00	8
1	OTA12	PEGUCHE	11:23:00	11:20:00	0
1	OTA12	OTAVALO	11:23:00	11:23:00	0
1	OTA12	IBARRA	10:48:00	10:48:00	0
1	OTA12	STO. DOMINGO	11:11:00	11:19:00	8
1	OTA12	PEGUCHE	11:23:00	11:20:00	0
1	OTA12	OTAVALO	11:28:00	11:23:00	0
1	OTA12	OTAVALO	10:48:00	10:48:00	0
1	OTA09	IBARRA	11:28:00	11:28:00	0
1	OTA09	STO. DOMINGO	11:51:00	11:53:00	2
1	OTA09	PEGUCHE	12:03:00	12:04:00	1
1	OTA09	OTAVALO	12:08:00	12:09:00	1
1	OTA09	OTAVALO	12:48:00	12:48:00	0
1	OTA09	COL. AGROPECUARIO	12:54:00	12:55:00	1
1	OTA09	ATUNTAQUI	13:10:00	13:11:00	1
1	OTA09	IBARRA	13:28:00	13:28:00	0
1	OTA09	IBARRA	14:00:00	14:00:00	0

Fig. 13. Ventana Principal del Software

A. Ventana de Administración

Ésta 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

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*, tal como se muestra en la Fig. 14.

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. 14. 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 cargaran en la tabla de la ventana los retrasos existentes como se muestra en la Fig. 15; 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. 16, 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.

#	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:...

Fig. 15. Ventana para Cancelar Retrasos

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	RTA
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. 16. 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. 17 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 SCT, la cual está ubicada en la oficina de Contabilidad de la misma cooperativa en la ciudad de Otavalo.



Fig. 17. Ubicación del transceiver del Módulo Máster

En la Fig. 18 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. 18. Módulo Usuario

La Fig. 19 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. 20.



Fig. 19. Módulo Nodo

Los lugares establecidos y el tiempo en minutos que deben cumplir se presentan en las Figuras 21 y 22:

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



Fig. 20. Ubicación Real de los Puntos de control

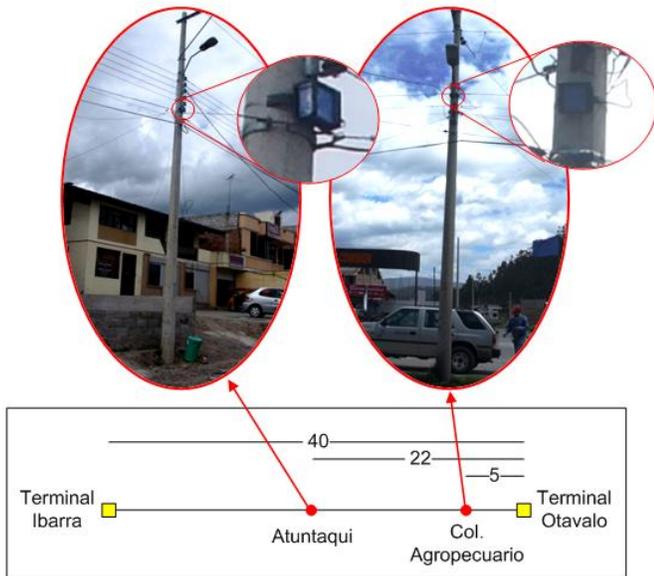


Fig. 21. Tiempos del recorrido Otavalo - Ibarra

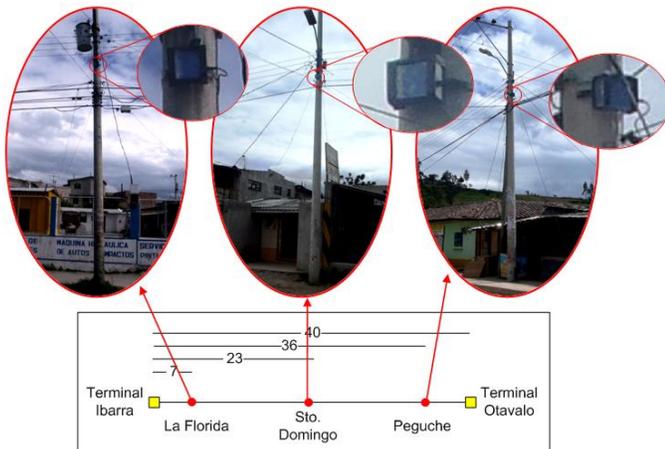


Fig. 22. Tiempos del recorrido Ibarra - Otavalo

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. 23 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.

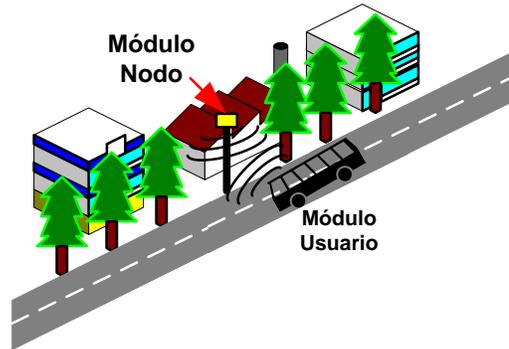


Fig. 23. Esquema de pruebas realizadas con obstáculos

2) Alcance sin obstáculos

En la Fig. 24 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.

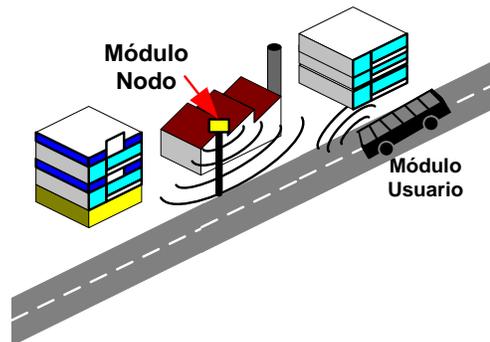


Fig. 24. Esquema de pruebas realizadas sin obstáculos

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. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Si se considera una cooperativa con sesenta unidades de transporte, cinco puntos de control ó Módulos Nodo y un Módulo Máster para la estación de descarga, se tendrá los siguientes costos de implementación y mantenimiento mostrados en la Tabla I.

TABLA I
COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE SISTEMAS

DESCRIPCIÓN	SISTEMA ACTUAL			SISTEMA PROPUESTO		
	CANT	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	CANT	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Puntos de Control (Reloj Tarjetero)	5	600,00	3000,00	5	124,79	623,95
Estación de Descarga	0	0,00	0,00	1	2105,74	2105,74
Módulos Móviles	0	0,00	0,00	60	163,40	9804,00
	Subtotal Implementación		3000	Subtotal Implementación		12533,69
Tarjetas	22 (diarias)	0,01	80,30	0	0,00	0,00
Proceso	5	240,00	14400,00	1	240,00	2880,00
Arriendo para Puntos de control	5 (al mes)	15,00	900,00	5 (al mes)	6,50	390,00
Mantenimiento		185,00	185,00		20,00	20,00
	Subtotal Mantenimiento Anual		15565,30	Subtotal Mantenimiento Anual		3290,00
	TOTAL		18565,30	TOTAL		15823,69

De la Tabla I, en el *Proceso* se considera el sueldo básico 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 SCT se necesitaría únicamente una persona para manejar el Software de Gestión.

Como se observa, el costo cancelado al mes por arrendamiento de espacio para relojes tarjeteros en domicilios particulares es de 15 dólares; con el SCT 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 aproximadamente 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 I el costo de implementación del SCT 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 SCT se gasta menos que en el otro sistema; por lo que en el transcurso del tiempo siempre el SCT será menos costoso que el sistema actual de adquisición de datos ya que las labores de comprobación de tiempos han sido automatizadas y no se requiere de personal humano que verifique manualmente las tarjetas marcadas por cada unidad.

X. 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.

XI. 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.

XII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración prestada a 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 nuestras familias por estar presentes en todo momento brindando apoyo incondicional.

XIII. REFERENCIAS

- [1] Wikipedia, (11-10-2009) ZigBee, IEEE 802.15.4 [on line]. Disponibles en: <http://es.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4
- [2] Zigbee.es,(11-10-2009) Conexión [on line]. Disponible en: http://www.zigbee.es/wp/?page_id=8
- [3] DomoDesk, (11-10-2009) A fonfo: ZigBee [on line]. Disponible en: <http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=21&c=47>
- [4] National Instruments, (11-10-2009) Zibgee [on line]. Disponible en: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7118>
- [5] Freescale Semiconductor, Electrocomponentes S.A., (13-10-2009) Tecnología ZigBee. Un mundo de soluciones inalámbricas [on line]. Disponible en: <http://www.electrocomponentes.com/articulos/diciembre06/ZigBee.html>
- [6] 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.
- [7] GUTIÉRREZ, José; CALLAWAY, Edgar; BARRET, Raymond, Low-Rate Wireless Personal Area Network. Enabling Wireless Sensors with IEEE 802.15.4. Primera Edición. Estados Unidos. 2004
- [8] Jordi Mayné, (11-10-2009) IEEE 802.15.4 y ZigBee [on line]. Disponible en: http://www.bairesrobotics.com.ar/data/ieee_zigbee_silica.pdf
- [9] Andrés Oyarce, (04-09-2009) Guía de Usuario del módulo XBee en español [on line]. Disponible en: http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf
- [10] Carlos Narváez, (21-10-2009) Reloj de Tiempo Real [on line]. Disponible en: <http://www.bolivar.udo.edu.ve/microinternet/articulos/Reloj%20de%20Tiempo%20Real%20DS1307.pdf>
- [11] PicManía by RedRaven, (20-10-2009), EL USB DESENCADENADO: CDC USB [on line]. Disponible en: http://picmania.garcia-cuervo.net/usb_3_cdctransfers.php

- [12] Wikipedia, (24-10-2009) USB communications device class [on line]. Disponible en: http://en.wikipedia.org/wiki/USB_communications_device_class

XIV. BIOGRAFÍAS



Cristina Cisneros M., nació en Ibarra-Ecuador el 18 de Septiembre de 1986. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico “Otavalo”, donde cursó simultáneamente dos especialidades, obteniendo los títulos de bachiller en Electrónica e Informática. Culminó sus estudios en la Universidad Técnica del Norte en la Carrera de Electrónica y Redes de Comunicación en el 2010. Fue secretaria del Club de Robótica de la Universidad Técnica del Norte en el período 2008 – 2009 y actualmente es miembro pasivo del mismo club.

Áreas de interés: robótica, programación, redes, microcontroladores. (cristy_mccm@hotmail.com)



Gerardo Collaguazo G., nació en Ibarra-Ecuador el 13 de Junio de 1966. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Técnico Nacional “17 de Julio”, donde obtuvo el título de Bachiller Técnico en la especialidad de Electricidad. Se graduó en la Universitatea Tehnica din Timisoara – Rumania como Ingeniero en Energética en 1995. Actualmente desempeña el cargo de Profesor Principal en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte, está a cargo del Centro de Transferencia Tecnológica de la Facultad y es miembro de la Comisión Académica de la Escuela de Ingeniería Electrónica.

Áreas de interés: robótica, control industrial, redes eléctricas, microcontroladores. (gicollaguazo@utn.edu.ec)