

Diseño de un prototipo del sistema inalámbrico para el registro de tiempos de recorrido en la transportación pública

Verónica Guerra, Daniel Altamirano, Paúl Ayala y Gonzalo Olmedo Garzón

Resumen— En el presente artículo se especifican el diseño y los componentes de un Sistema Inalámbrico para el Registro de Tiempos de Recorrido en la Transportación Pública, usando identificación por radio frecuencia RFID.

Palabras clave— RFID, AVL, Transportación Pública.

I. INTRODUCCIÓN

EN la actualidad el mundo está inmerso en una revolución tecnológica, de la cual ningún campo social puede quedar al margen. Aún más el sector de la transportación pública, que sirve a millones de personas en nuestro país.

Existen propuestas tecnológicas para mitigar estos problemas, que son los sistemas de localización automática de vehículos (AVL - *Automatic Vehicular Localization*), los cuales por su alto costo comprendido entre equipos y servicio no han sido acogidos por la transportación pública, además que no se centran en el objetivo de reemplazar a los actuales relojes de registro.

En consecuencia, es necesario el diseño de una herramienta tecnológica y económica que permita reemplazar a los relojes de registro actuales de forma fácil y autónoma, buscando una gran acogida por la transportación pública, y un impacto mínimo en sus actividades diarias de forma que el usuario sea su principal preocupación.

El presente trabajo muestra el diseño de un sistema de registro que reemplaza a los relojes que se manejan en la actualidad, basado principalmente en dispositivos inalámbricos, que usan principios de identificación por radio frecuencia (*RFID* - *Radio Frequency Identification*), implementado en base a microcontroladores, temporizadores, memorias flash y módulos de radiofrecuencia, una etiqueta y un lector. La etiqueta cumple las funciones de identificador del punto de registro el cual reemplaza a los relojes actuales y se comunica de forma inalámbrica con un lector ubicado en el transporte, el cual se encarga de registrar el paso por las inmediaciones de una etiqueta junto con la hora de detección. Datos que serán almacenados en un

dispositivo de memoria portátil. Los registros almacenados en la memoria, posteriormente podrán ser descargados en una PC y organizados en un archivo de texto, para ser administrados por el usuario que controle el sistema.

II. SOLUCIÓN PARA EL PROTOTIPO

A. Ventajas de la Identificación por Radiofrecuencia (RFID)

1. Se adapta a las necesidades de diseño del prototipo.
2. Menores costos.
3. Implementación sencilla.
4. Tecnología fiable y versátil de identificación automática.
5. No requiere contacto ni línea de vista con el objeto a operar.

B. RFID Pasivo



Fig. 1. RFID Pasivo

El lector envía ondas electromagnéticas que activan al transmisor el cual no necesita de una fuente de alimentación. Después de ser activado envía la información requerida al lector, tal como se muestra en la figura 1.

C. RFID Activo



Fig. 2. RFID Activo

La etiqueta (transmisor) requiere de una fuente de alimentación para entrar en operación.

Como se muestra en la figura 2 el transmisor siempre permanece activo, enviando un código que será reconocido únicamente por el receptor (lector). Posee

Verónica Guerra y Daniel Altamirano, Paúl Ayala y Gonzalo Olmedo, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, ESPE, Sangolquí, Ecuador, E-mails: payala@espe.edu.ec, gfolmedo@espe.edu.ec.

mayor rango de cobertura y mayor capacidad de memoria que RFI pasivo.

III. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Considerando para el diseño del prototipo, uno de los principios de funcionamiento de los sistemas de Identificación por Radiofrecuencia (RFID), el sistema constan básicamente de:

1. Transmisores/Etiquetas (TAG) que transmiten un constantemente código unívoco que las identifica, y poseen una fuente de alimentación auxiliar.
2. Receptores/Lectores, los cuales reciben el código de la etiqueta que está en sus proximidades.



Fig. 3. Diagrama Descriptivo del Sistema

En la Figura 3 se muestra a un bus cumpliendo su recorrido, desde la Parada Inicial a la Parada Final. Durante este trayecto el bus pasa por diversos puntos de registro, donde actualmente se encuentran relojes que timbran sobre tarjetas de cartulina, la hora y fecha de paso.

En la Figura 3 los relojes son reemplazados por Etiquetas (TAG), que identifican al lugar donde este ha sido ubicado, de tal forma que al momento que un Lector ubicado en un bus pasa por el área de cobertura del TAG, este reconoce de forma inalámbrica el código identificador, permitiendo al Lector que tome de la información de hora y fecha sin necesidad de detenerse o bajarse del bus, y se la almacene en un dispositivo de memoria externa.

La figura 4 muestra el diagrama de bloques general del diseño del sistema donde se puede observar los subsistemas que forman parte tanto del transmisor como del receptor.

La figura 5 muestra el esquema de alimentación del transmisor, el cual como se había indicado se encuentra transmitiendo datos cada segundo, en espera de que el receptor los detecte, por esta razón a más del sistema de alimentación principal el cual consta de un adaptador AC/DC de 12V, se necesita de un sistema de alimentación de respaldo el cual constará de una batería que con la ayuda de un relé entrará en funcionamiento en caso de que existan cortes de energía eléctrica.

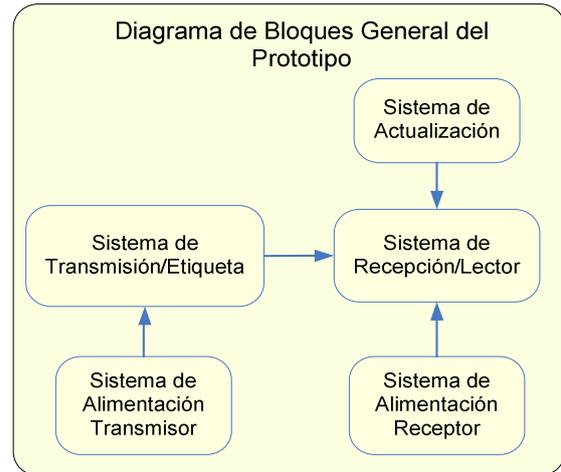


Fig. 4. Diagrama Descriptivo del Sistema

IV. DISEÑO DEL TRANSMISOR/ETIQUETA

A. Sistema de Alimentación

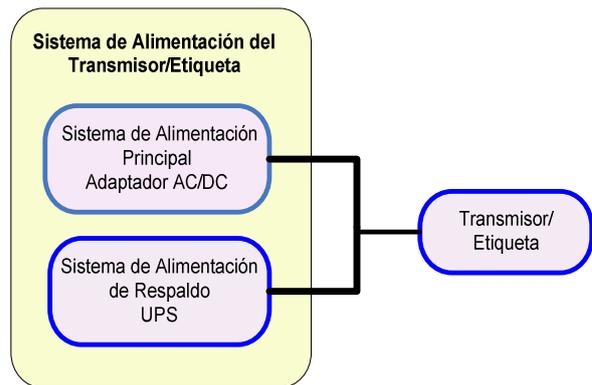


Fig. 5. Sistema de Alimentación del Transmisor

B. Sistema de Transmisión

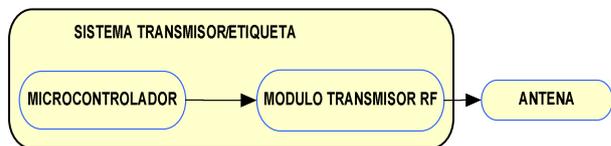


Fig. 6. Sistema de Transmisión

Consiste en el desarrollo de un módulo transmisor, que generará una etiqueta de identificación, la cual será enviada como una trama de datos correspondientes a un punto preestablecido dentro de la ruta.

Este sistema mostrado en la Figura 6 consta básicamente de:

1. Un microcontrolador, que es el encargado de generar la etiqueta que identifica el punto de registro, y enviar los datos a un modulador.

- Un módulo de radiofrecuencia, que permite modular los datos de la etiqueta, para que sean transmitidos de forma inalámbrica.
- Una antena, que envía los datos al medio de transmisión, que en este caso es el aire.

El Diagrama General del Circuito y el Software del Transmisor, están disponible en el Proyecto de Grado “Sistema Inalámbrico para el Registro de Tiempos de Recorrido en la Transportación Pública”, del cual ha sido extraído este Artículo.

C. Producto Final

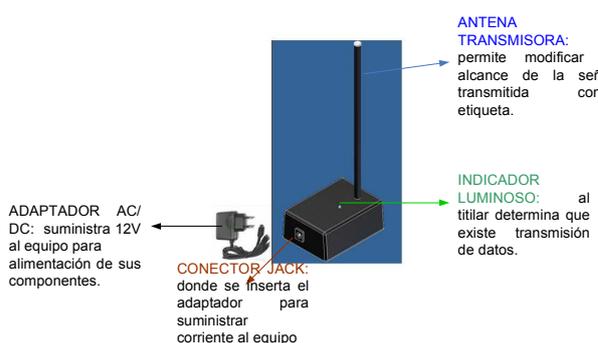


Fig. 7. Componentes del Transmisor

La figura 7 muestra los componentes necesarios para que el transmisor trabaje.

Una vez que ha sido conectado, comienza a transmitir cada segundo y de forma automática, la etiqueta que ha sido designada en el programa, para identificar al lugar donde está ubicado. El transmisor tiene un rango de cobertura que depende del voltaje que se le aplique a éste.

V. DISEÑO DEL RECEPTOR/LECTOR

A. Sistema de Alimentación

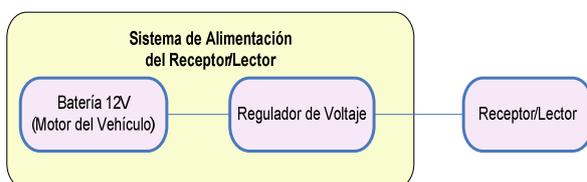


Fig. 8. Sistema de Alimentación del Receptor

Los bloques de la figura 8 muestran los componentes necesarios para la alimentación del receptor:

- Batería del receptor: aprovecha la energía de la batería del sistema de alimentación del bus.
- Regulador de Voltaje: permitirá la alimentación de los componentes del circuito del receptor, con el voltaje DC necesario para su operación.

B. Sistema de Recepción/Lector

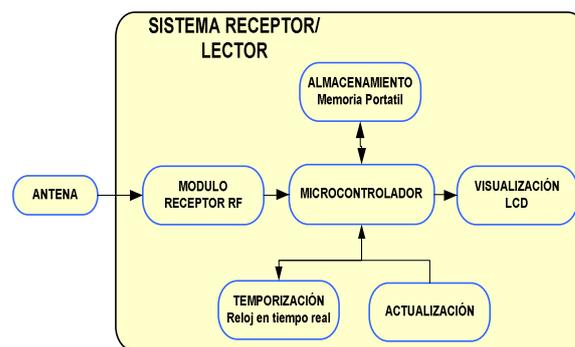


Fig. 9. Sistema de Recepción

Consiste en el desarrollo de un módulo receptor, el cual al momento de estar en los alrededores de la etiqueta, capta un código lo compara con sus registros internos y si es válido lo almacena en la memoria portátil, junto con la hora y fecha actual generados por el reloj en tiempo real, y también los presenta en una pantalla de cristal líquido LCD (*LiquidCrystalDisplay*), para la visualización instantánea del usuario.

Este sistema mostrado en la figura 9, consta básicamente de:

- Una antena, que permite captar los datos de una etiqueta cercana.
- Un módulo de radiofrecuencia para demodular los datos recibidos, y enviarlos al microcontrolador
- Un microcontrolador encargado de administrar todos los procesos del sistema receptor.
- Un reloj en tiempo real que permita la temporización del sistema, de modo que se pueda disponer de la hora y fecha actuales.
- Una tarjeta de memoria portátil para el almacenamiento de los datos correspondientes a la etiqueta y a la hora y fecha de paso por esta.
- Un LCD, que permita la visualización de la hora y fecha actual, además de los datos tomados en el último registro, y otra información necesaria para el usuario de acuerdo a sus necesidades.
- Un sistema de actualización cuya aplicación será explicada en el siguiente numeral.
-

El Diagrama General del Circuito y el Software del Receptor, están disponible en el Proyecto de Grado “Sistema Inalámbrico para el Registro de Tiempos de Recorrido en la Transportación Pública”, del cual ha sido extraído este Artículo.

C. Producto Final

Las figuras 10, 11 y 12 muestran todos los componentes del receptor y aquellos materiales necesarios para su puesta en marcha.

Una vez que es conectado a la fuente del bus, cada vez que ingrese al área de cobertura del transmisor, recibe la etiqueta, la procesa y la almacena junto con la hora y fecha en la MMC/SD.

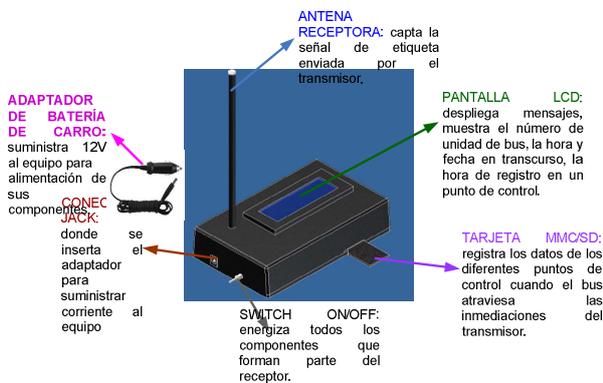


Fig. 10. Componentes del Receptor

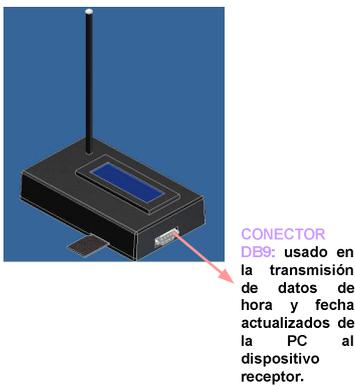


Fig. 11. Componentes del Receptor (Vista Posterior)

D. Visualización en el LCD

El usuario del sistema puede visualizar en el LCD los mensajes mostrados en la figura 12 de la siguiente información:

- 1 Línea 1: Identificación de la unidad.
- 2 Línea 2: Hora actual.
- 3 Línea 3: Fecha actual.
- 4 Línea 4: Hora e identificación de la última etiqueta registrada o espera de ingreso de memoria.

El mensaje de espera de ingreso de memoria se mostrará si la tarjeta de almacenamiento MMC/SD no está insertada en la ranura y el receptor no entrará en funcionamiento mientras no éste ubicada.

La hora e identificación de la última hora registrada se mostrarán cuando el receptor ingrese en la zona de cobertura del transmisor.

El mensaje de espera de ingreso de memoria se mostrará si la tarjeta de almacenamiento MMC/SD no está insertada en la ranura y el receptor no entrará en funcionamiento mientras no éste ubicada.

La hora e identificación de la última hora registrada

se mostrarán cuando el receptor ingrese en la zona de cobertura del transmisor.



Fig. 11. Componentes del Receptor (Vista Lateral)



Fig. 12. Diagrama de Mensajes Desplegados en la Pantalla LCD del Receptor

D. Almacenamiento en MMC/SD y Transferencia de Datos a la PC

El almacenamiento del sistema se lo realiza en una tarjeta MMC/SD, lo único que debe realizar el usuario es insertar la tarjeta en la ranura, como se muestra en la figura 13.

La MMC/SD, almacena los datos de forma que sean compatibles con Windows, ya que posee una tabla de archivos en formato FAT 16, compatible con DOS. Para un mejor manejo de los datos almacenados, la tarjeta los guarda en un archivo de documento de Excel con extensión .xls. Para poder transferir estos datos a la PC, se debe retirar la tarjeta MMC/SD del receptor, y colocarlo en la ranura MMC/SD de la PC, y si esta no dispone de una ranura, se puede utilizar un adaptador de MMC/SD a USB, como se muestra en la figura 14.

Una vez insertada la tarjeta en la PC, el usuario debe copiar el archivo a la PC, para abrirlo. Los datos de hora y fecha almacenados se presentan al usuario como lo muestra la figura 15, para que el administrador del sistema haga el uso necesario de los datos recolectados.



Fig. 13. Inserción de MMC/SD en la Ranura



Fig. 14. Adaptador MMC/SD a USB

	A	B	C	D
1	Registros guardados el: 30/07/08			
2	17:23:14			
3	17:23:15			
4	17:23:16			
5	17:23:16			
6	17:23:17			
7	17:23:18			
8	17:23:19			
9	17:23:20			
10	17:23:22			
11	Registros guardados el: 06/08/08			

Fig. 15. Registros Mostrados en Excel

F. Sistema de Actualización

El diseño de éste sistema es necesario, pues el prototipo basa su funcionamiento en el registro de tiempos exactos en los cuales un autobús se encuentra en un determinado punto de control. Para esto se diseñará un programa que permita el envío serial de datos como horas, minutos, segundos, fecha, desde la PC hacia el receptor/lector que mediante su microcontrolador se encarga de manejar el RTC, de tal manera de mantener el sistema actualizado con la hora y fecha exactas.

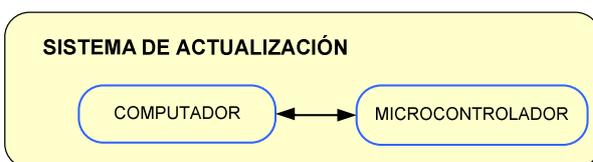
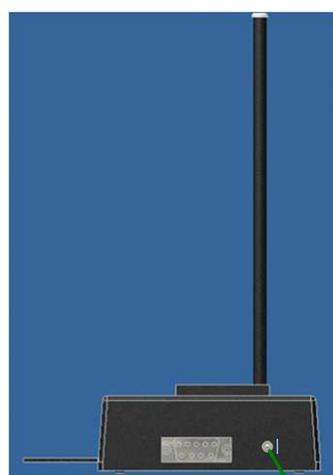


Fig. 16. Sistema de Actualización

La figura 16 muestra el esquema de envío de datos seriales desde la PC al reloj manejado por el microcontrolador del receptor.

G. Actualización de Hora y Fecha

La actualización de hora y fecha sirve para que el administrador del sistema pueda igualar al reloj del receptor sin necesidad de reprogramar el microcontrolador. Para esto se diseñó una aplicación Visual Basic, que se comunican a través de una interfaz RS-232. Para poder actualizar el sistema se deben seguir los siguientes pasos: En la placa del receptor existe un pulsador, que permite colocar al receptor en funcionamiento normal, o en actualización como se muestra en la figura 17.



PULSADOR ADMINISTRADOR

Fig. 17. Modo de Actualización

El receptor debe ser conectado a la PC usando el cable mostrado en la figura 18. Abrir la aplicación Actualización SIRT, mostrado en la figura 19 autenticarse y presionar el botón actualizar. Autenticarse ingresando nombre de usuario y contraseña como se muestra en la figura 20 presionar el botón actualizar. Presionar el botón actualizar mostrado en la figura 21 y la hora y fecha del sistema de recepción estarán actualizadas.



Fig. 18. Cable Serial-USB

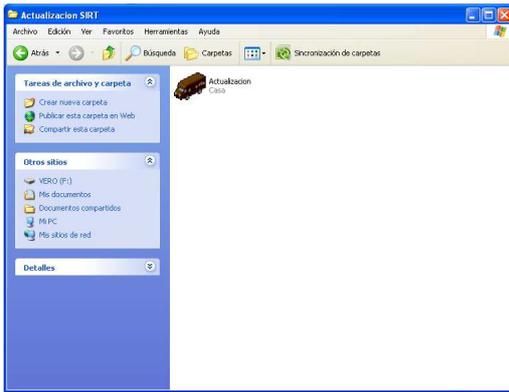


Fig. 19. Aplicación SIRT



Fig. 20. Pantalla de Autenticación



Fig. 21. Pantalla de Actualización

VI. PRUEBAS DE COBERTURA

Se tomaron en cuenta los resultados obtenidos en tres pruebas bajo los siguientes parámetros:

Condiciones Ambientales

- 1 Condiciones de temperatura normales 5°C a 27°C.
- 2 Altura 2800m sobre el nivel del mar.

Protocolo de Pruebas

- 1 Ubicación de los dispositivos en diferentes medios de transporte y distintas

localizaciones para determinar el comportamiento de los mismos en la transmisión de la información.

- 2 Alimentación en el rango de 5 a 12V para obtener el voltaje que proporcione el alcance óptimo para la transmisión de la señal.
- 3 Obtenido el valor de voltaje se procede a realizar pruebas a diferentes velocidades con el fin de determinar la probabilidad de pérdida de información y el rango de velocidades en el cual se garantiza el desempeño óptimo del sistema.

A. Primera prueba

Receptor instalado en la camioneta Mazda y Transmisor instalado en los laboratorios de electrónica.

Esta prueba sirvió para analizar el alcance de los módulos de radiofrecuencia, obteniendo los resultados mostrados en la tabla I.

TABLA I
RESULTADOS DE LA PRIMERA PRUEBA

Condición	Alcance	Observación
Alimentación del transmisor 5 Vdc	15m +5m	Muy susceptible obstáculos, poca pérdida de etiquetas y corto alcance.
Alimentación del transmisor 9 Vdc	80m +20m	Señal robusta, pérdida de paquetes nula, mediano alcance. Ver Figura 6.1
Alimentación del transmisor 12 Vdc	180m +300m	Señal robusta, pérdida de etiquetas nula, alto alcance.

A partir de esta prueba se definió que la alimentación para el transmisor, sería regulada a 9 Vdc, por poseer un alcance adecuado para la aplicación, y una pérdida nula de etiquetas en el receptor.

B. Segunda prueba

Receptor instalado en la camioneta Mazda y Transmisor instalado en la autopista General Rumiñahui, sector antiguo peaje.

En esta prueba se analizó el comportamiento del sistema a diferentes velocidades, en un ambiente típico al cual se orienta el diseño del sistema. La alimentación del transmisor en estas pruebas es de 9 Vdc, y se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla II, donde se puede deducir que el sistema posee un radio de alcance de 80m +20 m, y el primer paquete será receptado a esta distancia, siendo la hora de este registro la información que permitirá controlar el respeto a los tiempos de recorrido preestablecidos para la ruta.

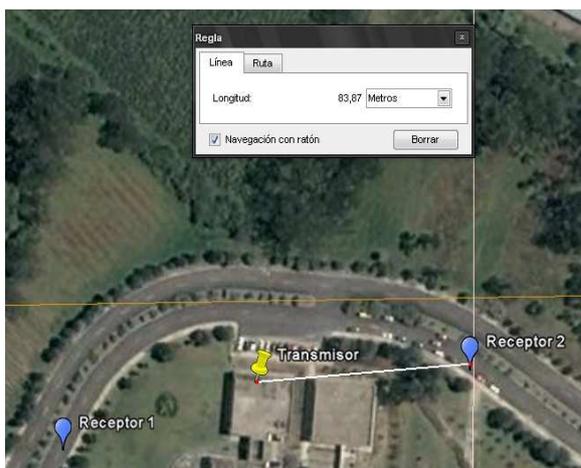


Fig. 22. Alcance a 9 Vdc

TABLA II
RESULTADOS SEGUNDA PRUEBA

Velocidad (km/h)	Alcance 1 (m)	Alcance 2 (m)
5	91,31	86,43
10	89,24	93,98
20	83,56	95,65
40	84,22	89,74
60	82,56	80,60
80	80,07	81,87
100	82,12	82,67
120	81,89	83,34

C. Tercera Prueba

Receptor instalado un bus de la Cooperativa de transportes “San Pedro de Amaguaña” y Transmisor instalado en la autopista General Rumiñahui, sector antiguo peaje.

La prueba tres permitió comprobar que al conectar el sistema un bus, su desempeño es el mismo respecto al radio de alcance y a las velocidades. Estas pruebas fueron realizadas durante un día de trabajo normal del bus, pudiéndose obtener los resultados mostrados en la tabla III.

TABLA III
RESULTADOS DE LA TERCERAPRUEBA

Vuelta	Velocidad (km/h)	Alcance (m)
1	70	83
	60	84
2	85	82
	40	86
3	75	82
	40	87

VI. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

A. Descripción del Sistema RFID

- 1 Tipo de Sistema RFID
- 2 Activo, Simplex, con memoria electrónica física

- 3 Banda de Frecuencia y Modulación Digital
- 4 Banda de 433,92 MHz y modulación ASK
- 5 Control de Errores y Encriptación de Datos
- 6 No se aplican en el sistema
- 7 Multi-acceso y Anticolisión
- 8 TDMA y SDMA



Fig. 23. Prueba en Autopista General Rumiñahui

B. Datos Técnicos del Prototipo

- 1 Voltaje de Alimentación del Transmisor
- 2 Voltaje: 9,0 – 12,0 Vdc.
- 3 Voltaje de Alimentación del Receptor
- 4 Voltaje: 9,0 – 18,0 Vdc
- 5 Consumo de Corriente del Transmisor
- 6 Durante transmisión: 51,0 mA
- 7 Durante reposo: 35,0 mA
- 8 Consumo de Corriente del Receptor
- 9 Durante recepción: 95,5 mA
- 10 Durante reposo: 72 mA

C. Análisis de costos

- 1 Costo directo Transmisor, 45,25 dólares
- 2 Costo directo Receptor, 112,12 dólares
- 3 Costo directo del Prototipo Total, 157,37dólares.

Los costos directos, hacen referencia al valor para implementar un prototipo, sin contar las implicaciones en costos que trae el diseño y la instalación del sistema.

VIII. CONCLUSIONES

Se ha diseñado e implementado un prototipo que con ayuda de la tecnología existente permite el reemplazo eficaz de los relojes de control manejados por la transportación pública, solucionando los problemas que el actual sistema ha generado.

Para la construcción del prototipo se empleó identificadores de radiofrecuencia activos, pues en el diseño es el transmisor quien inicia la comunicación, además se necesita de un alcance considerable para la transmisión y recepción de datos, características disponibles con RFID activa.

Los microcontroladores ATMEL presentan las características óptimas que se adaptan de forma eficaz a las necesidades de diseño del prototipo.

BASCOM AVR es una herramienta de desarrollo que cuenta con funciones e instrucciones que facilitan la programación de los microcontroladores y optimizan el tiempo empleado para la misma.

El diseño del sistema se basó en lograr la comunicación inalámbrica entre el transmisor y el receptor y en el almacenamiento de datos en una tarjeta MMC/SD, para lo cual fue necesario conocer las funciones de programación que permiten configurar los parámetros de los protocolos de comunicación serial RS-232, I2C, y SPI.

El programa de desarrollado en Visual Basic, se diseñó como respaldo al circuito de reloj en caso de que existan fallas.

Estudios realizados comprueban que 433 MHz es la frecuencia óptima de operación de los sistemas RFID activos, brinda mayor alcance en ambientes abarrotados.

Después de varias pruebas realizadas se determinó que un desempeño óptimo del transmisor, se da con 9 Vdc de alimentación y una antena monopolo de 50 ohms y $\lambda/4$ que aproximadamente son 17cm de longitud.

El radio de cobertura del sistema es de 80m +20m de radio, tomando como centro la ubicación del punto de control.

El primer dato que registre el receptor será tomado como la hora de timbre y siempre se encuentra en un rango de 10m a partir de que el bus ingresa en la zona que se considera de detección de etiqueta.

Todos los datos tomados durante el tiempo que el receptor se encuentra en el área de cobertura son registrados en la tarjeta MMC/SD, ya que el tiempo de acceso a la tarjeta y escritura de datos es muy pequeño alrededor de los 0,5ms.

IX. RECOMENDACIONES

La implementación comercial de un dispositivo que cuente con las características del prototipo diseñado para este proyecto, tomando en cuenta las mejoras que se proponen, resultaría ser muy beneficiosa para el control de tiempos de recorrido en las cooperativas de buses, pues con ayuda de la tecnología se puede evitar la actividad incomoda en la que una persona debe bajar del bus, arriesgando en muchas ocasiones su seguridad por tratar de llegar al punto de control a tiempo.

Resultaría muy interesante la difusión del conocimiento de microcontroladores ATMEL en el Departamento de Eléctrica y Electrónica, pues cuentan con herramientas de desarrollo que facilitan la programación y optimizan el tiempo que puede ser usado para el desarrollo de mayor cantidad de aplicaciones.

El funcionamiento óptimo del prototipo se garantiza a velocidades menores a 120km/h, por lo tanto se recomienda que los conductores respeten las velocidades establecidas para su circulación dentro de la ciudad.

Las pruebas realizadas mostraron que los dispositivos se comunican sin temor a pérdidas de información con el transmisor conectado en un lugar despejado y

levantado del piso unos 2m, el receptor fue ubicado en el panel del bus y del automóvil, por lo tanto para obtener un desempeño óptimo se recomienda colocar a los dispositivos de forma parecida a la descrita.

El archivo de Excel donde se almacenan los tiempos de control de las unidades de bus ofrece varias funcionalidades al administrador, quien a más de verificar el cumplimiento de tiempos, podrá usar los datos para determinar cuáles son los sitios de mayor congestión por el tiempo en el que el bus demora en retirarse de las inmediaciones del punto de control donde se encuentra ubicado el transmisor.

REFERENCIAS

- [1] Localización Automática de Vehículos". Padilla, Jhon. Bucaramanga: s.n., 2005.
- [2] José, Angulo. Microcontroladores PIC. Diseño Práctico de Aplicaciones. s.l.: McGraw-Hill, 2006.
- [3] José, Angulo. MicrocontroladoresPIC.La Clave del Diseño. s.l.: McGraw-Hill, 2003.
- [4] Tecnología RFID. Magazine, RFiD. 2005.
- [5] José, Ciudad. Estudio, Diseño, y Simulación de un Sistema RFID basado en EPC. 2005.
- [6] Estudio, Diseño y Simulación de un Sistema RFID basado en EPC. José, Ciudad. 2005.
- [7] Jordi, Bartolomé. [En línea] 01 de 06 de 2004. [Citado el: 7 de 05 de 2008.] www.tolaemom.com/otros/mmcard.htm.
- [8] Clive, Seager. Webelectronica. [En línea] [Citado el: 08 de 05 de 2008.] www.clubse.com.ar/download/pdf/notasrevistas08/nota01.htm.
- [9] MCS Electronics. [En línea] [Citado el: 26 de 05 de 2008.] www.mcselec.com.
- [10] Selecting the Optimal Frequency for GobalApplications in Active RFID. Technologies, Savi. Inc., LaipcaTechnoligy. Laipac. [En línea] 2007. [Citado el: 19 de 05 de 2008.] www.laipac.com. _