

# REGISTRO DE RUTA SEGUIDA POR AUTOBUSES USANDO GPS Y ZIGBEE

***José Ignacio Vega Luna***

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco  
*vlji@correo.azc.uam.mx*

***Mario Alberto Lagos Acosta***

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco  
*vlji@correo.azc.uam.mx*

***Gerardo Salgado Guzmán***

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco  
*vlji@correo.azc.uam.mx*

***Víctor Noé Tapia Vargas***

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco  
*vlji@correo.azc.uam.mx*

***Francisco Javier Sánchez Rangel***

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco  
*vlji@correo.azc.uam.mx*

## **Resumen**

Se presenta la implantación de un sistema que registra en una memoria SD las coordenadas de la ruta seguida por un autobús y las transmite a una interface de usuario a su llegada a la terminal para su almacenamiento en un archivo y visualización en la aplicación Google Earth. Las coordenadas se obtienen por medio de un módulo GPS conectado a un microcontrolador que las almacena en un módulo SD y transmite inalámbricamente a la interface de usuario ubicada en una computadora de la oficina central de la terminal. La comunicación del autobús con la computadora se realiza usando transceptores ZigBee. Se utiliza un reloj de tiempo real RTC para contar con un método exacto y confiable que proporcione la

hora y fecha para registrar las coordenadas GPS en el módulo de memoria SD. El sistema cuenta con un botón de alarma que al activarse permite al operador enviar un mensaje de alerta GSM a un teléfono móvil.

**Palabra(s) Clave(s):** Coordenadas, comunicación inalámbrica, GPS, memoria SD, microcontrolador, ZigBee.

## **1. Introducción**

El monitoreo de rutas y recursos usados por flotillas de vehículos ha traído como resultado la aparición de diversos proveedores de sistemas de rastreo satelital y aplicaciones que hacen uso de las coordenadas GPS registradas para funciones adicionales. Las funciones son optimización de rutas, para hacer más eficiente el uso de combustible, tiempos estimados de llegada y transmisión de video de la unidad, entre otras. Estos sistemas representan un costo elevado para las empresas propietarias de vehículos ya que en la mayoría de ellos el monitoreo es en tiempo real y por lo tanto el pago de renta por unidad, de \$1,000 USD en promedio, se incrementa en base a las funcionalidades contratadas. Ante esto, muchas empresas que no requieren monitoreo en tiempo real, han optado por adquirir aplicaciones que se ejecutan en una computadora y a las cuales les suministran manualmente las coordenadas de la ruta seguida por sus vehículos. Esto es, registran con un dispositivo móvil o un navegador satelital las coordenadas en una memoria SD y las importan en la aplicación o transmiten desde el dispositivo móvil o navegador satelital las coordenadas a la computadora por medio del puerto Bluetooth [1]. Esta solución tiene un costo mucho más bajo que las de tiempo real y el alcance de la transmisión de coordenadas desde el dispositivo móvil no es mayor a 10 metros lo cual está determinado por los transceptores Bluetooth.

El trabajo aquí presentado se desarrolló en base a solicitud de una empresa operadora de autobuses. La empresa cuenta con una aplicación que gráfica y optimiza rutas seguidas por los autobuses para hacer eficiente el uso de combustible. Actualmente suministran manualmente a esta aplicación las coordenadas GPS, obtenidas por medio de un navegador satelital, de la ruta de

cada autobús. La aplicación no cuenta con un sistema de registro automático de coordenadas de los autobuses, por lo que el requerimiento solicitado y objetivo de este trabajo fue construir el sistema que registre las coordenadas GPS de la ruta en una memoria SD y las transmita inalámbricamente a una computadora, al llegar el autobús a la terminal, sin intervención del operador. El alcance de la transmisión debe ser al menos 70 metros.

El punto inicial para el desarrollo del trabajo fue determinar el mecanismo de adquisición y registro de coordenadas GPS. Se examinaron dos alternativas: usando un dispositivo móvil o usando un navegador satelital. La primera alternativa, además del dispositivo móvil, requiere la aplicación GPS Tracks de Google [2, 3], la cual tiene costo de \$3.99 USD, para que las coordenadas registradas puedan importarse en otra aplicación, como Google Earth, para graficarlas. Esta alternativa no se usó en el trabajo realizado porque requiere que en cada unidad se instale un teléfono móvil con contrato de renta y la aplicación instalada, lo cual aumenta considerablemente el costo del sistema y adicionalmente el operador tendría que descargar manualmente en la computadora de la terminal las coordenadas GPS registradas. La segunda alternativa es utilizar un navegador satelital que registre las coordenadas GPS de una ruta en una memoria SD. En este caso existen varios fabricantes de navegadores, todos con funcionalidades básicas similares, por ejemplo, un navegador confiable y robusto comúnmente usado en registro de coordenadas es el GPS GARMIN NUVI [4, 5, 6]. Los navegadores GPS no necesitan una aplicación adicional y su costo es \$300.00 USD en promedio. No se usó un navegador en este trabajo principalmente por su costo y porque también necesitaría intervención adicional del operador del autobús para acceder a la información almacenada en la memoria SD. Por otra parte, existen soluciones de este tipo desarrolladas para entornos particulares que no aplican para la necesidad planteada en este trabajo, como por ejemplo la aplicación Dejabus [7] creada por la Universidad de Colima. Dejabus es una aplicación gratuita que se ejecuta en un dispositivo móvil para monitorear y estimar la hora de llegada de autobuses de transporte público en paradas establecidas. Esta aplicación hace

uso de un sistema, residente en un servidor en Dallas, Texas, que monitorea los receptores GPS instalados en los autobuses.

No existe un sistema comercial que cumpla con el requerimiento y objetivo solicitado por la empresa de autobuses, por lo que se determinó desarrollar un sistema electrónico instalado en cada autobús que utilice un módulo GPS y proporcione las coordenadas GPS de la ubicación actual de la unidad. Estas coordenadas se registran en una memoria SD y son transmitidas automáticamente a la computadora de la oficina de forma inalámbrica al llegar el autobús a la terminal. En la computadora las coordenadas se almacenan en un archivo de texto que posteriormente es suministrado a las aplicaciones que se ejecutan en ella. La contribución y ventajas del sistema realizado son las siguientes: el costo es mucho menor al de soluciones existentes, ya que no se necesitan las coordenadas de la ruta en tiempo real, no requiere intervención del operador para acceder a las coordenadas de la ruta y, al usar como tecnología inalámbrica de comunicación ZigBee, tiene la ventaja que su alcance es 100 metros. Como valor agregado, el sistema cuenta con un botón de alarma, que al ser activado envía un mensaje de texto y ubicación de la unidad a un teléfono móvil. Para seleccionar los componentes adecuados del sistema de forma tal que cumpla con las funcionalidades requeridas se investigaron los últimos avances tecnológicos relacionados con los distintos módulos que lo componen. La investigación realizada incluyó las siguientes tecnologías: GPS, almacenamiento en memorias SD, reloj de tiempo real, GSM y ZigBee.

### **Sistema GPS**

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de posicionamiento por satélites desarrollado por el Departamento de la Defensa de los EU (DoD), diseñado para requerimientos de navegación y posicionamiento precisos con fines militares [8]. En la actualidad es una herramienta importante para aplicaciones de navegación, posicionamientos de puntos en tierra, mar y aire [9]. El GPS está basado en un segmento espacial compuesto por una constelación de satélites de navegación que orbitan la Tierra a una altitud de cerca de 12,000 millas (20,000

kilómetros). La constelación consiste en 29 satélites operativos con 3 de respaldo. Los satélites del GPS transmiten dos señales de radio de baja potencia, llamadas L1 y L2. Cada señal GPS contiene los tres componentes de información siguientes: el código pseudo-aleatorio, los datos de efemérides de satélite y los datos de almanaque. El código pseudo-aleatorio identifica al satélite que transmite la señal. Los datos de efemérides de satélite proporcionan información sobre la ubicación del satélite en cualquier momento. El almanaque contiene información sobre el estado del satélite y la fecha y hora actuales [10]. Las posiciones se obtienen mediante la determinación de las distancias a los satélites visibles. Este proceso se conoce como tri-lateración. El momento de la transmisión de la señal en el satélite se compara con el momento de la recepción en el receptor. La diferencia de estos dos tiempos indicará el tiempo que le toma a la señal de viajar desde el satélite al receptor. Si se multiplica el tiempo de viaje por la velocidad de la luz, se puede obtener el rango o distancia con respecto al satélite. La repetición del proceso desde tres satélites permite determinar la posición de dos dimensiones en la Tierra (longitud y latitud). Un cuarto satélite es necesario para determinar la tercera dimensión, es decir la altura [11].

### **Memorias SD**

Las memorias SD son pequeñas tarjetas con formato SD (Secure Digital) ampliamente usadas en una variedad de dispositivos como: teléfonos móviles, cámaras de video y fotográficas, computadoras, equipos de sonido, entre muchos otros [12]. Su capacidad de almacenamiento es de 1 a decenas de GB, con respecto a sus dimensiones, básicamente existen tres tamaños como se indica en la tabla 1 [13].

Tabla 1 Dimensiones de memorias SD.

<b>Tipo de memoria</b>	<b>Dimensiones</b>
Memoria SD tradicional	32 mm x 24 mm x 2.1 mm
Memoria Mini SD	20 mm x 21.5 mm x 1.4 mm
Memoria Micro SD	11 mm x 15 mm x 1 mm

## **Reloj de tiempo real**

Un reloj en tiempo real (RTC) es un reloj de un sistema digital, incluido en un circuito integrado, que mantiene la hora actual. Los RTC están presentes en la mayoría de los sistemas electrónicos que necesitan obtener y almacenar la hora y fecha exacta. El término se usa para evitar la confusión con los relojes ordinarios de hardware, que sólo son señales que sincronizan circuitos digitales, y no cuentan el tiempo en unidades humanas [14]. Usar un RTC tiene beneficios como: bajo consumo de energía (importante cuando está funcionando con una pila), permite liberar de trabajo al módulo principal para que pueda dedicarse a tareas más críticas y algunas veces es más preciso que otros métodos.

## **GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles)**

El Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) es un sistema de telefonía móvil digital, que opera en diferentes bandas de frecuencia. Las bandas más conocidas son de las frecuencias de 900 MHz (GSM 900), 1,800 MHz (GSM 1800), 1,900 MHz y 2,100 MHz, trabajan en función de sus propias tarjetas de memoria llamadas SIM (Subscriber Identity Module), que proporcionan la identidad del usuario en la red con su número de teléfono asignado. GSM usa TDMA (cada canal de RF de 200 kHz es dividido en 8 períodos de tiempo, permitiendo de este modo 8 conversaciones simultáneas en la misma frecuencia de radio; también permite dividir ese tiempo en 16 secciones (time-slots) con un régimen de datos inferior (half-rate). En frecuencias bajas, para GSM se asignan 50 MHz de ancho de banda, 25 MHz para el enlace de subida (uplink) y otros 25 MHz para el enlace de baja (downlink), es decir 125 canales de subida y otro tanto de bajada; en frecuencias altas se asignan 100 MHz, 50 MHz para uplink y 50 MHz para downlink, resultando en el doble de canales disponibles [15]. El servicio más importante y utilizado que presenta GSM son los mensajes cortos SMS. El servicio de mensajes cortos SMS permite el envío y recepción de mensajes breves de texto de 160 caracteres máximo. Al recibir el mensaje además del texto se obtiene una serie de datos como: el remitente y la hora y fecha de recepción. El SMS usa un protocolo sin conexión ya que cuando se trasmite un mensaje no se

produce ninguna conexión directa entre el terminal que envía y el que recibe. Para el envío de un SMS, es necesario que el dispositivo GSM tenga configurado el número telefónico del centro de mensajes propio del operador. Una vez enviado el SMS es transmitido desde la red hacia el teléfono destino. Si el destino permanece apagado o fuera de cobertura, la red intentará enviar el mensaje durante 48 horas, pasado este lapso de tiempo el SMS no se entrega [16, 17].

### **Tecnología ZigBee**

La tecnología ZigBee se basa en el nivel físico y el control de acceso al medio (MAC) definida en el estándar IEEE 802.15.4. ZigBee trabaja en la banda de uso industrial, científico y médico (ISM); 868 MHz en Europa, 915 MHz en Estados Unidos y 2.4 GHz en el resto del mundo. Sin embargo, los diseñadores de dispositivos con transceptores ZigBee generalmente usan la banda de 2.4 GHz, por ser libre en todo el mundo. Una red ZigBee está compuesta por nodos [18]. El nodo ZigBee más completo requiere cerca del 10% del hardware de un nodo Bluetooth o Wi-Fi típico; esta cifra se reduce al 2% para los nodos más sencillos. El tamaño del código para utilizar un nodo ZigBee es aproximadamente 50% del tamaño de Bluetooth. Existen los siguientes tres tipos de nodos ZigBee según su papel en la red: 1. Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC). El tipo de dispositivo más completo. Debe existir al menos uno por red. Su función es controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos. 2. Router ZigBee (ZigBee Router, ZR). Interconecta dispositivos separados en la topología de la red y proporciona un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario. 3. Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED) [19]. Cuenta con la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos, tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato que los dos tipos anteriores. Un nodo ZigBee puede encontrarse en estado de reposo la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías.

## 2. Desarrollo

La metodología usada para el diseño de este trabajo fue dividirlo en dos circuitos: el primer circuito se encuentra instalado en el autobús y el segundo circuito está ubicado en la oficina central de la terminal. A continuación, se determinaron los módulos que componen a cada circuito y por último se seleccionaron los componentes adecuados a cada módulo. En la figura 1 se muestra un diagrama de bloques del sistema. El circuito instalado en el autobús se compone de seis módulos: módulo RTC, módulo de memoria SD, módulo GSM, módulo GPS, microcontrolador y transceptor ZigBee. El circuito de la oficina central está compuesto por dos módulos: transceptor ZigBee e interface de usuario. La operación y características de funcionamiento de cada módulo se explican a continuación.

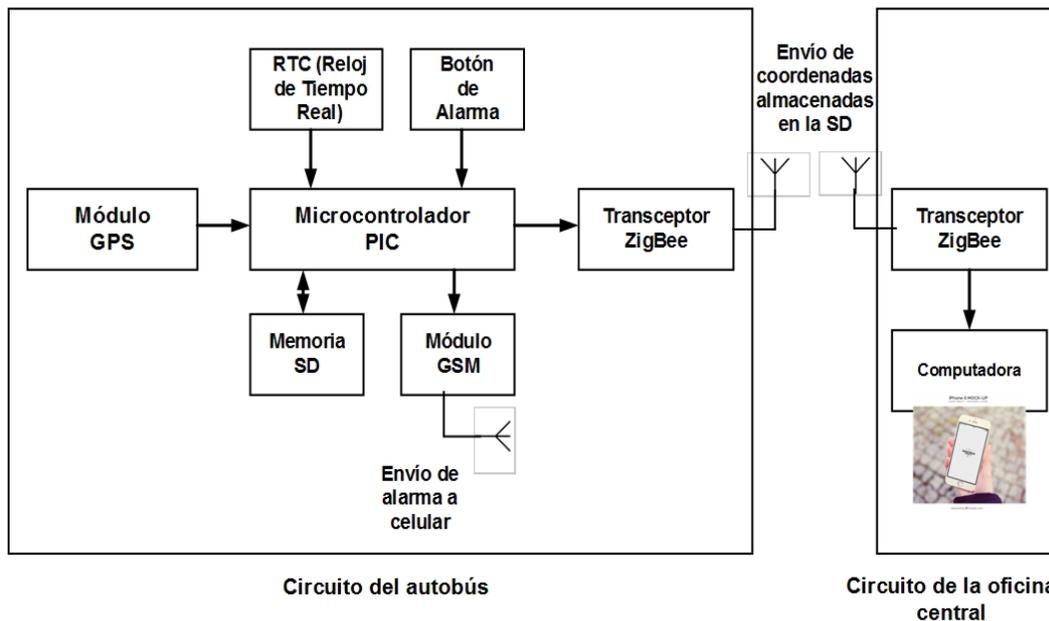


Figura 1 Diagrama de bloques del sistema.

### Circuito del autobús

#### Módulo RTC

En este módulo se usó el circuito RTC DS1307 como el mostrado en la figura 2, el cual es un reloj de tiempo real de bajo poder que proporciona la hora y fecha calendario en formato BCD y cuenta con memoria NV SRAM de 56 bytes. Se

utilizó este circuito para contar con hora y fecha exacta y confiable que se registra en la información enviada al módulo de memoria SD. El circuito RTC DS1307 se comunica con el microcontrolador usando el protocolo I<sup>2</sup>C, de manera que direcciones y datos se transfieren de forma serie usando el bus bidireccional I<sup>2</sup>C. La información de hora y fecha entregada por este circuito está integrada por segundos, minutos, horas, día, mes y año. El último día del mes está ajustado a los meses con menos de 31 días. El DS1307 se configuró como esclavo en el bus I<sup>2</sup>C y sus terminales SDA y SCL se conectaron a las terminales del SDA1 y SCL1 del primer puerto serie síncrono del microcontrolador, configurado en modo I2C. Para obtener la hora y fecha, la programación del microcontrolador transmite el comando de inicio al DS1307, seguido por el código de identificación del dispositivo y la dirección de un registro. Los registros que contienen la información de hora fecha son leídos secuencialmente hasta enviar el comando de terminación.

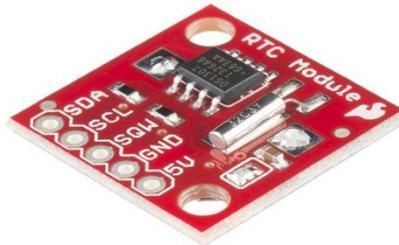


Figura 2 Módulo RTC DS1307.

### **Módulo de memoria SD**

Este módulo está integrado por una tarjeta de memoria SD y un contenedor SD. Las tarjetas de memoria SD (Secure Digital Cards) se usan para almacenar información en una variedad de dispositivos electrónicos como cámaras fotográficas y de video, teléfonos, computadoras y equipos de sondeo. Su tamaño varía desde 1 a 128 GB. La tarjetas SD pueden trabajar en uno de tres modos de operación; modo SD de un bit, modo SD de cuatro bits y modo SPI (Serial Peripheral Interface Bus). En este trabajo se usó el modo SPI para comunicar la memoria SD con el microcontrolador porque es el más sencillo, flexible de usar y es el soportado por la mayoría de microcontroladores. Para conectar la memoria

SD al segundo puerto serie síncrono del microcontrolador, configurado en modo SPI, se utilizó un contenedor HR845CT-ND como el mostrado en la figura 3. El sistema de archivos usado en la memoria SD para almacenar la información proporcionada por el autobús es de formato FAT-16.



Figura 3 Contenedor de la memoria SD.

### **Módulo GSM**

Este módulo está compuesto por un modem GSM. Los módems GSM se usan ampliamente en sistemas de seguridad, alarmas y monitoreo para proporcionar acceso a la red telefónica móvil para realizar llamadas y enviar mensajes de texto. La información que transmiten son ubicaciones de GPS, alertas y estado de variables de procesos. En este trabajo, la función de este modem es enviar un mensaje de alerta cuando el operador del autobús active el botón de alarma. El mensaje se envía al teléfono móvil de la base del autobús configurado en la programación del microcontrolador.

El modem GSM usado en este módulo fue el SIM300 como el indicado en la figura 4. El SIM300 se conecta a la red de cualquier operador GSM usando la tarjeta o chip correspondiente como lo hace un teléfono móvil con su número de teléfono asignado. Para enviar el mensaje SMS de alerta, la comunicación serie entre el microcontrolador y el modem se lleva a cabo por el puerto EUSART1 configurado a 9600 bps. El protocolo de comunicación entre el modem y el microcontrolador es por medio de comandos AT. Para enviar el mensaje de texto, la programación del microcontrolador sigue tres fases en el envío de los comandos AT: AT+CMCF=1, AT+CMGS=numero-de-telefono y mensaje de texto terminado con Cntrl+Z.

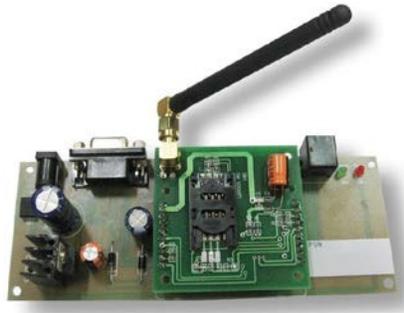


Figura 4 Modem SIM300.

### Módulo GPS

Para implantar este módulo se usó un circuito RXM-GPS-SR como el mostrado en la figura 5. Este circuito es un receptor GPS compacto con antena integrada de bajo consumo de corriente que puede adquirir coordenadas de 20 satélites simultáneamente en pocos segundos. La información de salida que entrega este circuito usa el formato del protocolo serie estándar NMEA. El RXM-GPS-SR se comunica con el microcontrolador por medio de sus terminales TX y RX. Estas terminales se conectaron, respectivamente, a una línea del Puerto A del microcontrolador para realizar la comunicación serie configurada a 9600 bps. Para lograr esta velocidad se usó como reloj el temporizador 0 del microcontrolador.



Figura 5 Módulo GPS RMX-GPS-SR.

### Microcontrolador

El microcontrolador usado fue un PIC18F86J60. Se utilizó este microcontrolador principalmente porque cuenta con los siguientes recursos que permitieron cumplir las funciones del sistema: memoria de programa flash de 64 kB, memoria SRAM de 3808 Bytes, dos puertos serie síncronos (Master Synchronous Serial Port-MSSP) configurables en modos SPI e I<sup>2</sup>C, dos puertos EUSART, cinco temporizadores y 55 líneas de entrada/salida.

## **Transceptor ZigBee**

Este módulo está compuesto por un circuito XBee Serie 2 como el mostrado en la figura 6. El XBee Serie 2 recibe la información de la ruta seguida por el autobús enviada por el microcontrolador y la transmite a la oficina central de la terminal de forma inalámbrica. El XBee de este módulo se configuró como ruteador. El puerto EUSART2 del microcontrolador se conectó al puerto UART del XBee usando una velocidad de 230.4 kbps.



Figura 6 Módulo XBee Serie 2.

## **Circuito de la oficina central**

### **Transceptor ZigBee**

Este módulo está compuesto por un circuito XBee Serie 2 y un convertidor de niveles RS232. El XBee Serie 2 recibe la información de la ruta seguida por el autobús a su llegada a la terminal y la enviada a la interface de usuario. El XBee de este módulo se configuró como ruteador. La salida del puerto UART del XBee se conectó a un convertidor de niveles RS232 MAX 232. El MAX 232 convierte la salida del puerto serie UART a niveles del estándar RS232 para usar un cable de comunicación RS232-USB y transmitir a la computadora la información del puerto UART.

### **Interface de usuario**

En la computadora personal se realizó, en lenguaje Visual C, la interface de usuario que almacena, en un archivo de texto plano diario, las coordenadas de rutas seguidas por cada autobús. En la figura 7 se muestra la ventana principal de la interface de usuario, se puede apreciar que en primer término permite

seleccionar el archivo que contiene las coordenadas de la ruta seguida por la unidad un día específico.



Figura 7 Interface de usuario del sistema.

El usuario puede consultar (figura 8) o graficar (figura 9), invocando la aplicación Google Earth, las coordenadas almacenadas en el archivo seleccionado. La información de coordenadas puede usarse en cualquier aplicación de análisis y optimización que se ejecute en una computadora. La programación de la interface de usuario configura también el puerto USB de la computadora, donde se conecta un módulo XBee para poder llevar a cabo la comunicación con el microcontrolador del sistema digital del autobús.

Ruta Unidad 257 21-07-2016

LONGITUD	LATITUD
19.342134	-99.294758
19.344078	-99.291496
19.348127	-99.285488
19.350071	-99.281025
19.353796	-99.279308
19.357197	-99.277248
19.359464	-99.273815
19.361894	-99.270210
19.365133	-99.266262
19.369667	-99.266262
19.37323	-99.264202
19.375497	-99.260597
19.377764	-99.257336
19.379384	-99.253387

Regresar

Figura 8 Coordenadas de ruta de un autobús mostradas en la interface de usuario.



Figura 9 Gráfica de ruta seguida por un autobús mostrada en la interface de usuario.

### 3. Resultados

Se construyeron cinco circuitos del autobús con la misma arquitectura. Cada circuito se instaló en la parte inferior izquierda del tablero de la unidad como se muestra en la figura 10. El costo aproximado del sistema electrónico fue de \$80 USD. Se realizaron pruebas con rutas de diferente longitud en el Área Metropolitana de la Ciudad de México y hacia algunos estados de México. Esto dio como resultado que se realizaran ajustes en la comunicación del RTC y la memoria SD con el microcontrolador, ya que la ruta graficada no era la seguida. Las pruebas más importantes fueron al registrar coordenadas de rutas largas y transmitir el archivo desde el autobús al circuito de la oficina central. Por ejemplo, la ruta México-Tijuana (5,700 km) generó un archivo de 100 kB. El transceptor XBee se puede comunicar con el UART del microcontrolador a velocidades de 1.2 a 230.4 kbps y transmitir información por RF a 250 kbps.

Inicialmente se configuró el UART a 1.2 kbps, la transmisión del archivo de 100 KB se realizó en 11 segundos, posteriormente se incrementó la velocidad gradualmente hasta llegar a la máxima de 230.4 kbps y el tiempo de transmisión disminuyó hasta 5 segundos como se indica en la gráfica de la figura 11.



Figura 10 Ubicación del circuito del autobús.

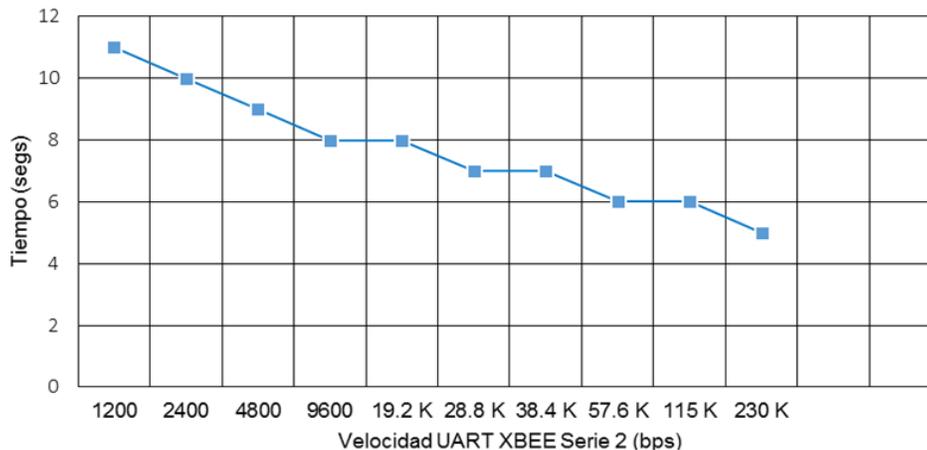


Figura 11 Tiempo de transmisión de archivo de 100 kB entre el autobús y oficina central.

Configurando el USART a 230.4 kbps la transmisión del archivo de 100 kB (un poco más de 800 Kbits) debería tardar 3 segundos. Tardó 5 segundos porque la velocidad del USART del circuito XBee es menor a la velocidad de la salida RF y por la existencia de tiempos de conexión en la comunicación Bluetooth como lo indica el manual del fabricante. Para transmitir el archivo de coordenadas en menor tiempo posible se configuró la velocidad del USART del dispositivo XBee a 230.4 kbps.

Se realizaron también pruebas de transmisión entre el circuito del autobús y el circuito de la oficina central a diferentes distancias. El resultado que se obtuvo fue

un alcance de 102.5 metros con línea de vista, un poco superior a los 100 metros especificados por el fabricante del transceptor XBee. Finalmente, se probó la activación del botón de alarma, recibándose el mensaje en el teléfono móvil configurado. Como se esperaba, en regiones donde no existe señal celular, sobre todo en lugares de difícil acceso, se recibió el mensaje hasta encontrar señal en celular el módulo GSM.

#### **4. Discusión**

El diseño e implantación de este sistema permite obtener datos confiables que pueden usarse en aplicaciones de optimización de rutas, creación de nuevas rutas, solución de imprevistos en el recorrido de un autobús, tiempos definidos del recorrido y una mayor movilidad. La solución resultante no es para monitorear en tiempo real la ruta de un autobús y por tanto su costo es mucho menor a las existentes de tiempo real. Los beneficios del sistema desarrollado son los siguientes: la inversión que realiza el usuario es el costo del sistema electrónico y su instalación, no hay una renta, el sistema puede usarse por cualquier empresa que no requiera seguimiento de rutas en tiempo real, ya que las coordenadas pueden ser utilizadas por diversas aplicaciones a las que se les suministra esta información en forma de texto, no existe actualmente una aplicación como la implantada en este trabajo donde la transmisión inalámbrica de información desde el autobús a una computadora tenga alcance de 100 metros. El tiempo en la transmisión de archivos de coordenadas, mayores a 100 KB, no representa un problema, ya que el tamaño del archivo es resultado de rutas demasiado largas en el país, las cuales no son recorridas continuamente. Consumir 5 segundos para transmitir el archivo está dentro del tiempo usado por el autobús al entrar a la terminal. Con respecto a la activación del botón de alerta, cuando se tenga un problema en el autobús en zonas donde no exista señal celular, por ejemplo, fallas de motor, llantas o accidente, una mejora a este sistema podría ser incorporar un teléfono satelital en plan de renta mínima que solo se use en situaciones de envío de mensajes de emergencia.

## 5. Conclusiones

Se obtuvo un sistema compacto, económico y fácil de instalar que cumple los requisitos solicitados y que actualmente está en operación. Se está planeando desarrollar la segunda versión que incorpore el monitoreo en tiempo real de rutas urbanas, incorporando al sistema electrónico del autobús transceptores de tecnología LoRa (Long Range). Estos transceptores de reciente creación tienen alcance de 50 kilómetros, suficientes para rutas dentro de la misma ciudad. La ventaja principal del sistema será que es en tiempo real y el usuario no necesitará pagar la renta de un servicio satelital para el monitoreo.

## 6. Bibliografía y Referencias

- [1] K. Sujatha, P. V. Nageswara, K. J. Sruthi, "Design and development of android mobile based bus tracking system". 2014 First International Conference on Networks & Soft Computing (ICNSC). Guntur. 19-20 Aug. 2014. Pp. 231-235.
- [2] J. Y. Lin, B. K. Yang, T. A. Do, "The Accuracy Enhancement of GPS Track in Google Map". 2013 Eighth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA). Compiègne. 28-30 Oct.
- [3] <https://itunes.apple.com/us/app/gps-tracks/id425589565?mt=8>. Feb 2016.
- [4] L. Singla, P. Bhatia, "GPS based bus tracking system". 2015 International Conference on Computer, Communication and Control (IC4). Indore. 10-12 Sept. Pp.1-6. 2015.
- [5] K. Sujatha, P. V. Nageswara, K. J. Sruthi, "Design and development of android mobile based bus tracking system". 2014 First International Conference on Networks & Soft Computing (ICNSC). Guntur. 19-20 Aug. 2014. Pp. 231-235.
- [6] GPS GARMIN NUVI 15xH/15xL Technical Specifications. Garmin Ltd. UK. December 2009.
- [7] Dejabus, tu destino sin esperas. <http://www.dejabus.com/>. Febrero 2016.

- [8] J. M. Hu, J. Li, G. H. Li, "Automobile Anti-theft System Based on GSM and GPS Module". 2012 Fifth International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems (ICINIS). Tianjin. 1-3 Nov. 2012. Pp. 199-201.
- [9] N. Guan, H. Chiba, Y. Yamaguchi, "A flat roof automobile antenna module for LTE, GPS and SDARS applications". 2014 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC). Palm Beach. 3-9 Aug. 2014. Pp. 11-14.
- [10] C. Chen, D. Zhang, N. Li, "B-Planner: Planning Bidirectional Night Bus Routes Using Large-Scale Taxi GPS Traces". IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Vol 15. Issue 4. 2014. Pp. 1451-1465.
- [11] C. V. Suresh-Babu, R. P. Rubajini, K. Pooja-Devi, "An Integrated smart system for accident - avoidance in four wheelers by using GSM and GPS Module". 2013 Fifth International Conference on Advanced Computing (ICoAC). Chennai. 18-20 Dec. 2013. Pp. 432-438.
- [12] P. Zhou, T. Wang, X. Wang, "Hardware implementation of a low power SD card controller". 2014 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC). Guilin. 5-8 Aug. 2014. Pp. 158-161.
- [13] S. Mateski, Z. Anastasovski, "Digital sound recorder with ARM microcontroller and SD card". 2012 20th Telecommunications Forum (TELFOR). Belgrade. 20-22 Nov. 2012. Pp. 1741-1743.
- [14] Y. W. Bai, H. C. Chen, "An adjustable design for the Real Time Clock of high-end server systems". CCECE 2008. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2008. Niagara Falls. ON. 4-7 May. 2008. Pp. 183-188.
- [15] B. Janarthanan, T. Santhanakrishnan, "Real time metropolitan bus positioning system design using GPS and GSM". 2014 International Conference on Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE). Coimbatore. 6-8 March 2014. Pp. 1-4.
- [16] U. Farooq, T. Haq, M. Amar, "GPS-GSM Integration for Enhancing Public Transportation Management Services". 2010 Second International

- Conference on Computer Engineering and Applications (ICCEA). Bali Island. 19-21 March 2010. Pp. 142-147.
- [17] M. Yuchun, H. Yinghong, Z. Kun, "General Application Research on GSM Module". 2011 International Conference on Internet Computing & Information Services (ICICIS). Hong Kong. 17-18 Sept. 2011. Pp. 525-528.
- [18] C. Yuehong, X. Yong, Y. Xiao, "Wireless ZigBee transceiver for smart meter reading system". 2012 IEEE Power Engineering and Automation Conference (PEAM). Wuhan. 18-20 Sept. 2012. Pp. 1-6.
- [19] J. Gil, J. H. Kim, C. S. Kim, "A Fully Integrated Low-Power High-Coexistence 2.4-GHz ZigBee Transceiver for Biomedical and Healthcare Applications". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Volume 62. Issue 9. 2014. Pp. 1879-1889.

## **7. Autores**

M.C. José Ignacio Vega Luna obtuvo su título de Maestría en Ciencias de la Computación en la UAM-Azcapotzalco. Sus áreas de especialización y trabajo son: aplicaciones de microcontroladores, UNIX y sistemas de alta disponibilidad. Desde 1985 es Profesor Titular de carrera en la UAM-Azcapotzalco.

Ing. Mario Alberto Lagos Acosta es Ingeniero en Electrónica por la UAM-Azcapotzalco. Sus áreas de especialización y trabajo son: aplicaciones con microprocesadores y microcontroladores. Actualmente es Profesor Asociado en la UAM-Azcapotzalco.

Ing. Gerardo Salgado es Ingeniero en Electrónica por la UAM-Azcapotzalco. Sus áreas de especialización y trabajo son: aplicaciones con microprocesadores y microcontroladores. Actualmente es Profesor Titular en la UAM-Azcapotzalco.

Ing. Víctor Noé Tapia Vargas es Ingeniero en Electrónica por la UAM-Azcapotzalco, cuenta con el 100% de créditos de la Maestría en Ciencias de la Computación en la UAM-Azcapotzalco. Sus áreas de especialización y trabajo son: aplicaciones con microprocesadores, microcontroladores y robótica. Actualmente es Profesor Titular en la UAM-Azcapotzalco.