

Sistema Automático para el Posicionamiento y Localización Satelital Remota en Línea de Vehículos. Módulo de Tracking GPS/GPRS

**Marcelo O. Cejas¹, Franco M. Salvático¹, Javier N. Gonella¹, Javier G. Panero¹,
Fabián M. Sensini¹**

(1) Departamento de Ingeniería en Electrónica, UTN Facultad Regional Villa María,
Av. Universidad 450, Villa María, Córdoba (Argentina)
(mcej@frvm.utn.edu.ar)

RESUMEN

Para un mayor control y seguridad de los vehículos pertenecientes a transportes de carga y pasajeros, es necesario conocer en todo momento la localización y el estado de funcionamiento de cada una de las unidades integrantes de la flota. Es por ello que se creó un sistema de rastreo que incorpora tecnología GPS y GPRS, mediante las cuales se obtiene la posición y datos asociados a la velocidad, y la comunicación de estos datos al servidor central de control. Toda la información es procesada por un microcontrolador que coordina todos los periféricos presentados, más el almacenamiento de datos, la monitorización del estado del vehículo y la interpretación de la programación del sistema como así generar las alarmas establecidas. El código del microcontrolador se realizó en lenguaje C mediante la elaboración de librerías. Se puede indicar que el módulo cumplió con el objetivo de brindar información del vehículo a intervalos regulares como así en momentos de activarse una alarma.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de posicionamiento global por medio de satélites (*GPS, Global Positioning System*) han tomado gran importancia en la localización terrestre, marítima y aérea, la navegación automática de maquinaria, control de logística, rastreo y seguridad de transportes en general. Asociado a que en la actualidad se ha producido un incremento notorio del transporte privado y público tanto urbano como interurbano llevan a enfrentarse a nuevos desafíos y problemas que se deben resolver. De las soluciones posibles, la más eficiente es el uso de sistemas localización automática de vehículos (*AVL, Automatic Vehicle Location*) que hace uso de GPS y procesamiento informático. Al combinar estas tecnologías con las comunicaciones móviles, memorias de almacenamiento, microcontroladores e informática, es posible generar un sistema capaz de interaccionar permanentemente entre vehículos y centrales remotas de control para el procesamiento de datos y toma de decisiones tanto en forma local como remota.

El dispositivo de rastreo se debe instalar en el vehículo y envía señales e información sobre su ubicación (en tiempo real o no) a un sistema remoto de control y monitoreo. Existen muchas técnicas para determinar la posición y transmitirla y de acuerdo a la necesidad de cada caso se determina la técnica a utilizar, en general el módulo almacena la información de posición entre un periodo de tiempo específico, que puede ir de segundos a minutos y luego esta información se envía directamente, pero también puede ser procesada previo al envío. Los sistemas AVL no se componen de un simple dispositivo sino que son la combinación de varias tecnologías, como son: la unidad GPS del vehículo que recibe las señales del conjunto de satélites y calcula la posición geográfica del móvil, el sistema de comunicaciones que recibe la ubicación desde el receptor GPS

y la transmite a un centro de control, para esta tarea se usa la red celular tipo GSM (Global System for Mobile Communications) ya que las comunicaciones son de baja tasa de transmisión de datos y la cobertura de la red es extendida, un centro de control recibe los datos de cada vehículo y los procesará mediante un software de mapeo de calles mostrando su ubicación en una pantalla. Cualquier flota de vehículos sea de transporte de pasajeros, cargas o emergencia puede ser administrada de forma eficiente, ya que permite el rastreo de cargas de gran valor aumentando enormemente su seguridad debido a su permanente monitoreo. Por estos motivos las compañías de transporte de pasajeros y cargas usan sistemas AVL para optimizar la flota de vehículos, reducir el consumo de combustible, mano de obra y costos, incrementando la seguridad y protección de conductores y pasajeros.

Los sistemas AVL aumentan la eficiencia operativa y también mejoran el servicio al cliente debido a la capacidad de predecir horarios de partida y llegada del transporte en tiempo real, al contar con estos datos le permite a la empresa analizar la calidad del servicio, planificar horarios y realizar mantenimiento programado. El mayor beneficio del AVL es un mejor servicio, satisfacción del cliente, ayudar en la corrección de estrategias y mejorar el planeamiento a futuro. Los costos de un sistema AVL varían de acuerdo al número de componentes, su tamaño y la complejidad del sistema. La tendencia es que los costos disminuyan y la integración aumente. La complejidad es muy variada desde módulos que contienen solo un receptor GPS y una terminal de datos móvil a sistemas instalados a una gran flota de vehículos y una sofisticada central de control.

Al momento esta tecnología se usa intensivamente en la mayoría de los países desarrollados para monitorizar la ubicación y velocidad de vehículos. En los países en vías de desarrollo se implementa también pero en general la electrónica y software se importa desde otros países. Es por esto que es muy interesante abordar el problema y desarrollar sistemas de manera local que permitan generar conocimiento sobre las distintas tecnologías que conforman un sistema AVL, posibilitando su aplicación en conjunto o por separado en aplicaciones específicas.

COMPONENTES DEL SISTEMA AVL

El diseño general de un sistema AVL es mostrado en la Figura 1, donde se encuentran las distintas etapas que lo componen. El módulo creado es el dispositivo que se ubica en los vehículos.

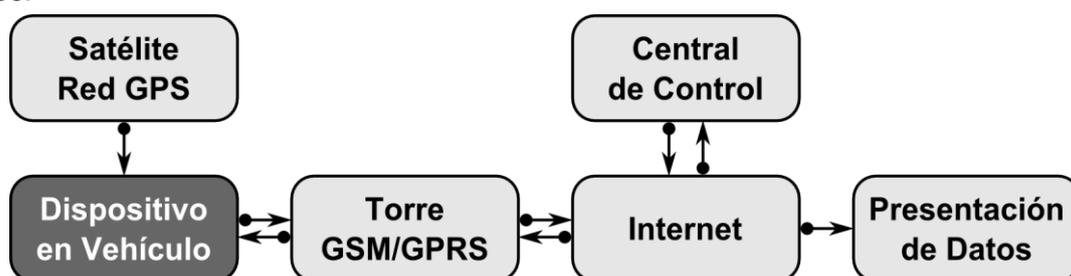


Fig. 1. Diseño en bloques del sistema AVL.

El componente central de este sistema es la tecnología GPS, que proporciona información de ubicación y tiempo en cualquier punto de la superficie terrestre a partir de 24 satélites puestos en órbita por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Se logra siempre y cuando haya al menos cuatro satélites a la vista del receptor GPS. Tres satélites son suficientes para calcular la posición del receptor pero debido a errores pequeños de temporización, los receptores usan

cuatro satélites (como mínimo) para resolver la ubicación y el tiempo con mayor precisión. El sistema funciona las 24 horas del día bajo cualquier condición climática y no tiene costo ni cargos por el uso del sistema. Los satélites GPS orbitan la tierra dos veces al día en trayectorias muy precisas y transmiten información de la posición del satélite y el instante de tiempo cuando esta fue transmitida. El receptor GPS calcula su posición comparando las señales recibidas de los satélites usando los mensajes que recibe para determinar el tiempo que le toma al mensaje llegar hasta él y calcula con esto la distancia a cada satélite. Se calcula la posición del receptor en latitud y longitud mediante trilateración utilizando las distancias a cada satélite. A partir de la información de posición de un satélite y la distancia al mismo se puede formar una esfera estando el receptor en algún punto de la superficie de ésta. Al interceptar dos esferas (calculadas a partir de la información de dos satélites) se forma una circunferencia. Por último la intersección de esta circunferencia con otra esfera (tercer satélite) determina dos puntos posibles. Para vehículos terrestres solo uno de estos puntos esta sobre la superficie terrestre y el otro da en el espacio libre, tomando como valido el primero. Es interesante mencionar que se puede calcular la dirección y velocidad del receptor usando los cambios de posición respecto el tiempo. Debido a la magnitud de la velocidad de la luz pequeños errores en el reloj del receptor pueden generar grandes errores en cálculo de la posición. Al usar cuatro satélites las cuatro esferas deben coincidir en un punto del espacio. Es muy poco probable que el punto calculado a partir de tres esferas coincida con una cuarta esfera. Con esto se puede corregir la posición y el reloj del receptor para hacer que las cuatro esferas coincidan.

La red de satélites transmiten la información sobre dos portadoras (L1 1575.42MHz y L2 1227.60MHz). Se usan dos codificaciones, una pública para navegación de baja resolución para uso civil modulado sobre la portadora L1. La otra se modula sobre L1 y L2 usado solo por la milicia estadounidense. Las señales son transmitidas usando CDMA permitiendo recibir simultáneamente los mensajes de cada satélite basado en que cada uno tiene código único. Los mensajes envían información sobre el numero de semana y el tiempo transcurrido en la misma, información sobre el estado de cada satélite, las efemérides de la órbita entre otros datos.

Los receptores GPS han ido evolucionando con el correr de los años y actualmente hay un sinnúmero de fabricantes que ofrecen módulos de alta integración SMT (por su sigla en Surface-Mount Technology) disminuyendo tamaño y costos. Combinan alta sensibilidad y bajo consumo de energía a tamaños inferiores a 5 cm². Detectan señales de hasta -160 dBm posibilitando extender la cobertura del sistema haciendo uso de pequeñas antenas. Su conexión es muy simple haciendo necesaria alimentación continua de baja tensión, antena activa o pasiva externa y comunicación de datos de velocidad variable por puertos de serie, compatible con RS232. Los receptores son multicanales pudiendo recibir señales de ocho a doce satélites simultáneamente asignados dinámicamente según varíe la potencia de señal recibida. Los receptores en general disponen de varios circuitos integrados para lograr la tarea de localización. Generan alimentación para antenas activas y detección de corto circuito o desconexión de la misma. En la sección de RF (Radio Frecuencia) poseen un filtro pasa banda, amplificador LNA y receptor de RF con oscilador local. El tiempo necesario para que el receptor llegue a localizar su posición depende del tiempo que estuvo apagado el modulo. Para disminuirlo suelen usar la posición de los satélites y el receptor previo al apagado y recalculan las posiciones en función del tiempo transcurrido. En general el protocolo utilizado para la comunicación con dispositivos externos es estándar NMEA0183 de equipos de navegación. Ha sido definido por la Asociación Nacional de Electrónica Marina. Usa comunicación serial de formato ASCII y el estándar define como es transmitido el mensaje desde un único emisor a uno o múltiples receptores simultáneamente. Entre los datos posibles se encuentra la posición, velocidad, profundidad. La longitud del mensaje suele ser de 20

a 80 caracteres. Se provee además de detección de errores mediante checksum.

Respecto de la comunicación con la central, se sabe que la tecnología de teléfono celular más usada alrededor del mundo es el sistema GSM. Una de las características sobresalientes del sistema es la habilidad de mantener comunicación pese al desplazamiento del usuario por la red de celdas. Fue desarrollada alrededor de 1991 y creció de forma sostenida. GSM fue diseñado para superar diversos problemas que tenían las redes analógicas y aumentar la cantidad de usuarios en un mismo ancho de banda. Para lograr esto se usa TDMA digital (TDMA, Time Division Multiple Access) y algoritmos cifrado digital de voz para aumentar la privacidad del sistema. La necesidad de mayor velocidad de transferencia digital de datos fijo la creación del servicio GPRS (GPRS, General Packet Radio Service) capaz de transmitir datos a una mayor velocidad de la que permite GSM que estaba concebida para la comunicación de conversaciones telefónicas. Soporta el envío de datos a una tasa de hasta 177 kbps. El costo del servicio GPRS depende de la cantidad de datos enviados lo que permite estar continuamente conectado. Su funcionamiento opera en paralelo a GSM lo que permite enviar y recibir llamadas de voz y datos simultáneamente.

A través del GGSN (GGSN, Gateway GPRS Support Node) se provee la funcionalidad de interconexión con otras redes de datos por paquetes exteriores a la red GSM. El GGSN enmascara a las redes de datos las especificaciones del GPRS. También gestiona la tarificación de los abonados al servicio y soporta el protocolo utilizado sobre la red de datos con la cual se interconecta.

Haciendo uso de estos servicios se dota al sistema AVL de gran versatilidad en materia de comunicación de datos. En el mercado existen variedad de módulos integrados GSM/GPRS. Poseen capacidad de cuatribanda (850/900/1800/1900 MHz) y pueden operar sobre cualquier red GSM/GPRS para transportar voz y datos. Son similares al núcleo de comunicaciones de un teléfono celular y pueden ser integrados a cualquier sistema que requiera la transmisión de datos sobre la red celular. Entre sus funciones incluyen interfaz de audio, señalización de control y estado, varios modos de ahorro de energía y puertos UART, USB, comunicación con tarjetas SIM, conector RF para antena, conversores A/D y entradas/salidas digitales. Todas las características se acceden usando protocolo AT proporcionando control total sobre el módulo. Son de diseño compacto ahorrando espacio y se conectan mediante conectores multipines.

DISEÑO DEL MÓDULO DE RASTREO

Las funciones que cumple el módulo que se instala en los vehículos de un sistema AVL son la de transmitir y recibir datos vía GPRS a la central de control, procesar datos generados por el GPS, obtener datos de los sensores y comandar distintas variables del vehículo, administrar recursos de energía y batería. Para llevar a cabo esta tarea se incluye un circuito integrado microcontrolador que generalmente forma parte de los sistemas embebidos. Los microcontroladores incluyen CPU de 8/16/32 bits, RAM, ROM, pines de entrada/salida digital, temporizadores, osciladores a PLL, conversores A/D, puertos de comunicación UART, USB y I2C, y modos de bajo consumo de energía todo integrado en un solo chip. Esto disminuye la cantidad de partes necesarias y costos. Los microcontroladores ejecutan programa que se encuentra en la memoria ROM, llamado ejecutable o firmware comúnmente escrito en lenguaje C permitiendo excelente portabilidad de código para poder reutilizar librerías y código generado en distintos microcontroladores como en otros proyectos. Para el almacenamiento masivo de datos se usa una memoria flash tipo SD. Esta dota de máxima autonomía al sistema sobre todo en casos de pérdida de comunicación con la

central de control. Mientras no hay cobertura GSM el microcontrolador almacena los datos en la SD y espera a que el módulo ingrese nuevamente a la zona de cobertura GPRS para poder enviarlos. El dispositivo incluye un sistema de energía de reserva para cuando el vehículo no se la provee. Se utiliza una batería externa y con el microcontrolador se diseñó un circuito de administración de energía y carga de batería. Con las entradas digitales del microcontrolador se implementan lecturas del estado del vehículo. Con las salidas digitales se generan señales de estado del módulo como alimentación, cobertura GPS y GPRS, estado de batería auxiliar y comando de algún dispositivo externo. Las entradas/salidas se presentan a través de un conector protegidas contra cortocircuitos y sobre picos externos de tensión.

El prototipo del módulo AVL se implementó sobre una placa de circuito impreso que incluye todos los componentes, conectores y zócalos para conectar el hardware que lo compone. Luego de realizar mediciones y pruebas se integrará y disminuirá el tamaño lo máximo posible. La central de control se va a implementar como un software JAVA de monitoreo y control corriendo sobre una PC. Para la comunicación con los distintos módulos AVL sobre los vehículos se usa un sistema de servicio Web que permite que el módulo transfiera sus datos escribiendo a una dirección IP específica. Esta información se usa para mostrar en una interfaz amigable al usuario la posición, velocidad, estado del vehículo. Además para cada vehículo se pueden fijar alarmas de desvío de ruta específica, velocidad máxima.

IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE

El dispositivo de AVL, consta de una serie de periféricos y módulos para su funcionamiento. Un diagrama en bloques del mismo se presenta en la Figura 2.

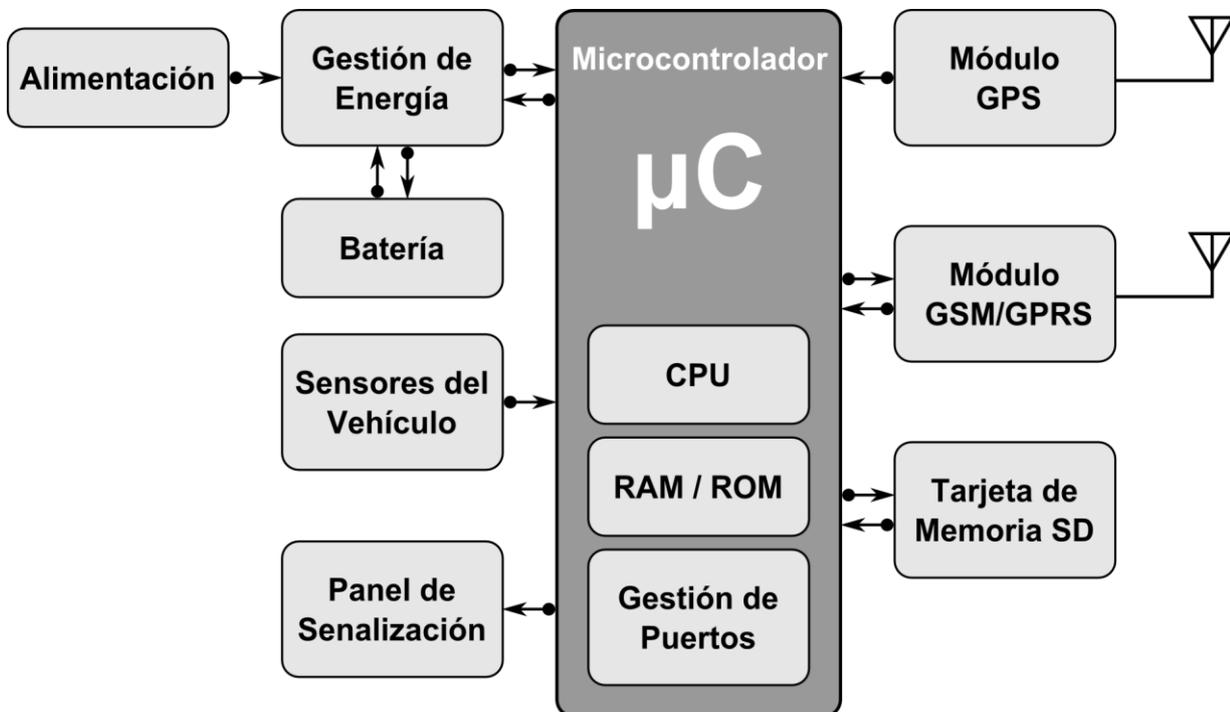


Fig. 2. Diagrama en bloques del dispositivo AVL.

La alimentación del sistema es obtenida de la red eléctrica del vehículo en el cual es instalado, pero es requerido el uso de una batería propia que permite al módulo seguir en funcionamiento aún cuando falle la alimentación principal, por esta razón es que se tiene un gestor de energía encargado de controlar el estado de carga como de falla en alimentación comunicando estos estados al microcontrolador que ejecuta las operaciones de acuerdo se encuentre en modo normal o batería. En caso de llegar al estado de batería baja, se envía el alarma correspondiente y se pasa a modo apagado hasta tanto no se recupere la alimentación. Las entradas analógicas y digitales, permiten ingresar los datos provenientes de los sensores del vehículo que representan distintos estados y alarmas. El panel de señalización da a conocer de manera sencilla en qué modo de trabajo está el sistema, las intensidades de señal de GPS y GSM, si hay proceso de comunicación, entre otros. El módulo GPS como el de GSM se hallan conectados mediante puerto de serie RS232 y con cambiadores de nivel lógico. El modulo GPS es un GR-22 de la empresa SANAV conectado a la antena activa con LNA SM-76 de San Jose Technology Inc. para recibir las señales de los satélites. La comunicación GSM/GPRS se realiza con un módulo Motorola G24L, al que se le añade el lector de tarjeta SIM y la antena pasiva. Con este modulo se efectúa el envío de las alarmas o el estado general al servidor central, como así recibir comandos de acción. En caso de no existir comunicación, el sistema permite el guardado de todas las alarmas programadas en una tarjeta de memoria del tipo Secure Card (SD), que se halla comunicada con el microcontrolador mediante puerto SPI y utiliza un sistema de archivos FAT. Esta tarjeta también es usada para la programación inicial. El microcontrolador elegido es Microchip© PIC18F45J50, que posee la cantidad de memoria RAM y ROM suficientes para la ejecución del programa, además de los periféricos de comunicación requeridos para conectarse con los módulos de datos utilizados.

Todo el hardware se monta sobre una placa prototipo para la evaluación de los componentes, la misma cuenta con el sistema de alimentación y las conexiones para cada unos de los módulos usados. Una vez evaluado el comportamiento, se realizará una placa de menor tamaño con un nivel de integración mayor que permita ubicar al dispositivo de manera más sencilla en el vehículo a controlar.

PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

La programación del código fuente como se indicó, fue realizada en lenguaje C mediante la elaboración de librerías reutilizables. Las mismas incluyen control de puertos de serie, manejo de protocolo NMEA0183 y comandos AT, sistema de archivos FAT, interpretación de sensores, gestión de energía, interpretación de configuración del usuario y presentación de señales indicadoras.

Cada una de las etapas programadas es evaluada mediante simulación para verificar que cumpla con los requisitos de funcionamiento indicado. Luego se van adicionando funciones hasta obtener un sistema completo capaz de ser llevado a la etapa de evaluación en placa.

El microcontrolador se halla en la placa de prototipo, y se carga el firmware mediante protocolo ICSP ya que es la manera más eficaz de hacerlo, permitiendo además realizar una depuración del sistema en funcionamiento.

PROTOCOLO DE CONTROL Y PROGRAMACIÓN

Para establecer la configuración del sistema, es necesario ingresarle la programación específica

mediante un archivo de configuración que se ubica en el directorio raíz de la tarjeta de memoria SD. Una vez que se inicia el módulo, éste lee al archivo y ejecuta las acciones necesarias para ajustar estas configuraciones al microcontrolador. Para que exista un entendimiento es necesario recurrir a un protocolo que permite al usuario crear de manera simple la lista de configuración, este protocolo se forma mediante tres letras seguido de una serie de caracteres que indican parámetros según el parámetro. De las tres letras, la primera indica si es una acción de programación (P), de consulta (C) o de ejecución (E). Las siguientes letras indican a qué función se está haciendo referencia como por ejemplo posicionamiento del vehículo (PV), cuya orden completa sería CPV.

La programación inicial se carga en un archivo de texto en la tarjeta de memoria, en el que se escribe una orden por línea de manera que sea más sencillo programarlo y luego procesar esta configuración. Es este archivo se indica además, los datos para el acceso a las redes móviles de internet que dependen de la operadora telefónica que utilice quién requiere el dispositivo. El sistema permite cargar diversas alarmas como: posición, velocidad, ángulo de giro, tiempo de detenimiento, fallas en el vehículo, entre otros. Por ejemplo se requiera programar una alarma de velocidad se deberá indicar el siguiente comando: PAV010901000060, que significa Programación de Alarma de Velocidad, utiliza la primera alarma (01), indica que la velocidad es 90 Km/h (090), indica que el sobrepaso debe ser ascendente (1), debe esperar 0 segundos antes de avisar (000) y tiene que esperar 60 segundos para una nuevo aviso (060) en caso que el evento de alarma no cese.

SERVIDOR CENTRAL

El servidor central aún no se ha implementado, pero este debe realizar el manejo de los datos provenientes de los dispositivos de rastreo, guardando los datos de posición y velocidad obtenidos en una base de datos para realizar un historial de los vehículos que permitan gestionar mejor las rutas y los consumos de combustible. Asimismo, con los valores recibidos en tiempo real es posible mostrarlos en un mapa digital que permite visualizar fácilmente la ubicación y estado del sistema de transporte controlado.

CONCLUSIÓN

Por lo expuesto resulta de sumo interés la implementación de sistemas dedicados AVL. Se ha investigado y desarrollado un sistema AVL genérico capaz de ser instalado en uno o más vehículos que pueda proveer en todo momento la información de posición, velocidad, consumo y alertas que se necesite de un móvil y de su carga así como el comportamiento de su conductor. Se generaron las especificaciones del sistema AVL.

Se han implementado placas de circuito impreso prototipo para realizar mediciones y puesta a punto del hardware, lo que nos permitió desarrollar el firmware del microcontrolador y realizar pruebas de funcionamiento del sistema.

El programa que realizó las tareas de evaluación, es una versión reducida que sólo efectúa el control de los periféricos, esto es tomar un bloque de datos de la posición del GPS y transmitirlos mediante GPRS a un servidor de prueba que los almacena y los muestra en pantalla.

Además, se midieron los consumos de energía para cada modo de funcionamiento en especial solo recepción GPS y transmisión/recepción de datos vía GPRS. Están dentro de los valores

nominales calculados. Se barrió la temperatura y la tensión de alimentación del módulo prototipo en un rango industrial de trabajo comprobando que no se produzca ningún tipo de falla.

Se realizaron pruebas de recepción de GPS, y envío y recepción de datos GPRS en zona urbana. No se detectó ningún problema. Se deben realizar mediciones en ruta para evaluar su funcionamiento a baja señal, distintas circunstancias geográficas, de velocidad y climáticas y evaluar si son apropiadas a las necesidades reales de una flota de vehículo.

REFERENCIAS

Microchip Technology Inc., *Embedded control handbook*, Microchip (1997).

Motorola, *Motorola G24 developer's guide*, Motorola (2006).

National Marine Electronics Association, *NMEA 0183 - Standard for interfacing marine electronic devices version 2.30*, NMEA (1998).

National Oceanic and Atmospheric Administration, *Global Positioning*, NOAA (2011).

Radioshack, *A Guide to the global positioning system (GPS)*, Radioshack (2004).

San Jose Navigation, *GR-22 GPS Receiver Module SANAV GPS.GR-22-090511-P1*.

Sklar, B., *Digital Communications*, Prentice Hall (2001).

Stremmer, F., *Introducción a los sistemas de comunicación*, Addison Wesley (1993).

Tisal, J., *La red GSM*, Ed. Paraninfo (2000).

Trimble, *GPS Tutorial*, Trimble (2011).

Vela, R., *Comunicaciones por Satélite*, I.T.P. Latinoamérica (2002).