



Ingeniería y Desarrollo

ISSN: 0122-3461

ISSN: 2145-9371

Fundación Universidad del Norte

Morales, Santiago; Pedraza, César; Restrepo-Calle, Felipe; Vega, Félix; Bastidas, Víctor
Análisis de requisitos para dispositivos de localización vehicular
seguros para sistemas de transporte público terrestre en Colombia
Ingeniería y Desarrollo, vol. 36, núm. 2, 2018, Julio-Diciembre, pp. 298-326
Fundación Universidad del Norte

DOI: <https://doi.org/10.14482/inde.36.2.10037>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85259689003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

UDEM [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Análisis de requisitos para dispositivos de localización vehicular seguros para sistemas de transporte público terrestre en Colombia

Analysis of requirements for secure automated vehicle location devices for public transportation systems in Colombia

Santiago Morales*

César Pedraza**

Felipe Restrepo-Calle***

Félix Vega****

Víctor Bastidas*****

Universidad Nacional de Colombia (Colombia)

* Estudiante de Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniero Electrónico, Universidad Nacional de Colombia. smoralesa@unal.edu.co

** Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Doctor en Informática, Universidad Rey Juan Carlos. capedrazab@unal.edu.co

*** Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Doctor en Informática, Universidad de Alicante. ferestrepoca@unal.edu.co

**** Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ph.D. en Ingeniería Eléctrica, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). jfvegas@unal.edu.co

***** Estudiante de Doctorado en Ingeniería Eléctrica, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniero Electrónico, Universidad Nacional de Colombia. vhbastidasa@unal.edu.co

Resumen

Los sistemas de localización automática vehicular (AVL) hacen parte fundamental de los sistemas de gestión de la flota para el transporte público terrestre en el mundo. En Colombia, algunos sectores de transporte público ya han implementado estos sistemas en sus vehículos, y demostraron su importancia en el funcionamiento del transporte público. Sin embargo, las condiciones de operación de algunos de los vehículos que transitan por las vías del país generan diferentes vulnerabilidades que pueden causar un mal funcionamiento en los AVL y, en consecuencia, en el servicio de transporte que prestan. Este artículo presenta un análisis de las necesidades y vulnerabilidades de los AVL que actualmente funcionan en vehículos de transporte público en Colombia, y propone unas recomendaciones técnicas que pueden dar solución a los problemas de seguridad que se presentan.

Palabras clave: AVL, localización vehicular automática, seguridad, sistemas de transporte público.

Abstract

Automatic vehicle location (AVL) systems are a fundamental part of fleet management systems for public land transport in the world. In Colombia, some public transportation sectors have already implemented these systems in their vehicles, demonstrating their importance in the operation of public transportation. However, the operating conditions of some of the vehicles that transit through the country, generate different vulnerabilities that can cause a malfunction in the AVL, and consequently, in the transportation service they provide. This article presents an analysis of the needs and vulnerabilities of AVLs that currently operate in public transportation vehicles in Colombia, and proposes technical recommendations that can solve current security problems.

Keywords: automatic vehicle location, AVL, public transportation systems, security.

Fecha de recepción: 20 de junio de 2017
Fecha de aceptación: 28 de marzo de 2018

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad es común que los sistemas de transporte público estén equipados con mapas digitales, sistemas satelitales de navegación global GNSS (Global Navigation Satellite System) y tecnologías de comunicación. Esto les permite determinar y transmitir su ubicación geográfica mediante sistemas de localización vehicular automatizados. Estos sistemas se denominan “Automatic Vehicle Location” (AVL por sus siglas en inglés) [1].

Las aplicaciones de este tipo de tecnologías cubren un gran abanico de posibilidades. En el campo de los sistemas de transporte público terrestre, las aplicaciones tradicionalmente se han dividido en cuatro categorías principales [2]: gestión de flota y monitoreo, recolección de datos y mapeo sobre la infraestructura de transporte, gestión de incidentes y, finalmente, sistemas de navegación vehicular. En general, estas aplicaciones buscan mejorar la eficiencia y seguridad en la prestación del servicio. Esto, por ejemplo, mediante servicios como la presentación de información a los usuarios de forma oportuna acerca de tiempos de llegada/salida, la notificación de incidentes en las vías e, incluso, la posibilidad de establecer una prioridad diferencial para los autobuses de tránsito rápido (BRT) en los semáforos (como en el caso de [3]), entre otros.

Además de los dispositivos AVL que solo ofrecen información acerca de la ubicación, también existen dispositivos AVL enriquecidos mediante el uso de sensores en el vehículo (*sensor-augmented AVL*). Estos son capaces de capturar y transmitir otro tipo de variables físicas asociadas al automotor, tales como: velocidad, aceleración en un instante dado, el consumo de combustible e identificación del conductor, entre otras. Estas capacidades, por ejemplo, facilitan la consolidación de reportes de buenos o malos hábitos de manejo de los conductores, con el fin de tomar medidas preventivas y correctivas, y así mejorar la seguridad en las vías.

A pesar de que los sistemas AVL hoy en día son suficientemente robustos, existen problemas de seguridad conocidos que se deben tener en cuenta al momento de diseñar un sistema de localización vehicular seguro. Estos problemas ocurren cuando, de manera malintencionada (o incluso sin intención), un tercero altera el funcionamiento normal del sistema. Si bien suelen ocurrir por mala manipulación del AVL instalado, son difíciles de

diagnosticar e incluso de solucionar debido a que muchas veces implican un mantenimiento o reparación física *in situ*. Estos problemas de seguridad se pueden clasificar en dos grupos: los inherentes al *hardware* y los inherentes al *software*. Entre los primeros se encuentran los ocasionados por desconexión de la antena del módulo GNSS, desconexión del módulo de comunicación, apertura del gabinete del AVL con el fin de manipular el dispositivo de forma directa, modificación no autorizada del *hardware* o clonación, entre otras. Por otra parte, en cuanto a los problemas relacionados con el *software* de los dispositivos AVL se deben considerar: conexiones no autorizadas a interfaces existentes que no se utilizan (puertos físicos o interfaces remotas), o a servicios de acceso remoto, seguridad en las comunicaciones, etc.

Actualmente, en Colombia —aunque se cuenta con una variedad de productos, servicios y dispositivos relacionados con la monitorización vehicular— existen algunas falencias propias de un mercado que no está regulado por ninguna entidad gubernamental especializada. No existen estándares ni normas técnicas relacionadas con este mercado en el país. Además, es necesario tener en cuenta que estos dispositivos se instalan en el interior de los vehículos y quedan expuestos a la manipulación de terceros, lo cual se convierte en una vulnerabilidad a la seguridad de este tipo de sistemas. Por otra parte, las autoridades encargadas de vigilar y controlar el transporte público en Colombia no siempre están en capacidad de reaccionar de manera efectiva ante las distintas problemáticas presentadas. La logística de las tareas de control en el país puede ser una tarea en extremo compleja. Por tanto, son necesarias herramientas tecnológicas de ayuda que permitan agilizar y hacer más efectiva dicha logística.

En este contexto, este artículo presenta el análisis de requisitos de un dispositivo de localización vehicular automatizado (dispositivo AVL) seguro que permita la identificación confiable de vehículos de transporte público en Colombia, con el fin de mejorar la seguridad de los usuarios y facilitar el control, la vigilancia y la regulación del transporte público en el país. Es importante aclarar que un dispositivo AVL con estas características se puede emplear en vehículos de transporte público que prestan diferentes servicios, tales como: transporte público individual, carga, transporte intermunicipal y servicios especiales, entre otros. Por tanto, el sistema propuesto en este artículo es una parte fundamental de un sistema más complejo a bordo del vehículo, diseñado específicamente según el tipo de servicio. Estos

sistemas podrían estar formados además por otros periféricos que no se consideran dentro del alcance de este artículo, los cuales permiten gestionar la información particular de cada servicio (p. ej. pantallas, cámaras, botón de pánico, etc.).

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se revisa el esquema tradicional de funcionamiento de los dispositivos automáticos de rastreo vehicular; en la sección 3 se presenta la metodología empleada en el análisis y la identificación de necesidades. La sección 4 presenta los resultados al exponer la situación actual de los sistemas AVL en Colombia, las necesidades encontradas y la propuesta del sistema. Posteriormente, en la sección 5 se realiza una discusión con las recomendaciones a modo de requisitos técnicos para un AVL seguro en Colombia y, por último, la sección 6 presenta las conclusiones del trabajo.

II. SISTEMAS DE RASTREO VEHICULAR AUTOMÁTICO

Un sistema de rastreo vehicular automático (AVL) está compuesto por un conjunto de elementos de *hardware* y *software* que permiten ubicar geográficamente un vehículo durante un lapso de tiempo determinado. Normalmente, estos sistemas se emplean con el propósito de aumentar la seguridad de los pasajeros, de los conductores y de la carga. Asimismo, se utilizan para mejorar la eficiencia de los sistemas de transporte mediante herramientas de gestión de flota.

La Figura 1 presenta los componentes de *hardware* y *software* de un sistema AVL. En general, un sistema AVL lo componen un dispositivo AVL a bordo del vehículo, un sistema de posicionamiento global (GNSS), una red de comunicación móvil celular y una plataforma tecnológica.

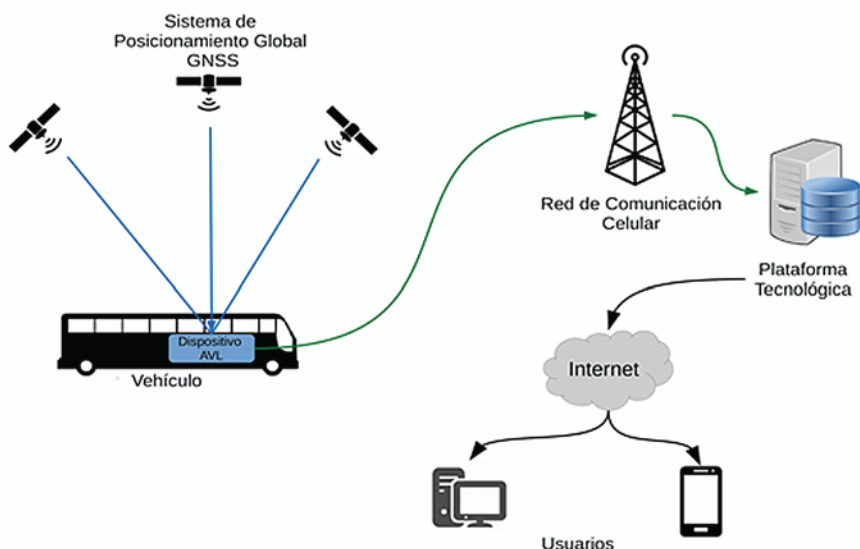


Figura 1. Arquitectura de un sistema de localización vehicular

La Figura 2 presenta un diagrama simplificado de las partes de un dispositivo AVL básico. Este dispositivo, instalado al interior de los vehículos, captura información de la localización de un sistema de posicionamiento global (GNSS) con el fin de determinar las coordenadas geográficas, la altura y el instante de tiempo, para luego transmitir dicha información a través de una unidad de comunicaciones que hace parte de una red móvil de gran cobertura hacia un servidor o plataforma tecnológica. Esta información la puede consumir un usuario o una aplicación con fines de seguridad o de logística. Debido a que la cantidad de información a transmitir es relativamente baja, es válido usar tecnologías de bajo coste y de poco ancho de banda como, por ejemplo, GPRS [4].



Figura 2. Diagrama de bloques de un dispositivo AVL básico

Por otra parte, el sistema de posicionamiento GNSS lo conforma un conjunto de satélites que orbitan alrededor del planeta. Estos proporcionan la información necesaria a módulos receptores de radio en tierra que calculan la posición geográfica con un nivel de precisión del orden de centímetros o unos cuantos metros. Algunos ejemplos de estos sistemas son: GPS [5], Glonass [6] y Galileo [7].

Finalmente, la información capturada por los dispositivos AVL del sistema se almacena, procesa y visualiza en una plataforma tecnológica. Actualmente, la tendencia se encuentra a favor de que la implementación de estas plataformas tecnológicas se realice por medio del desarrollo de una aplicación web y de bases de datos, desde las que se ofrecen servicios de control de flota, georreferenciación y geocercas, entre otros.

Hoy en día, los dispositivos electrónicos a bordo de los vehículos son capaces de desempeñar diversas tareas, como, por ejemplo, la lectura de variables físicas (sensores), o el control y el desempeño del motor (ECU o unidad de control del motor). De esta manera, los vehículos modernos llevan consigo toda una red de comunicaciones que tiene como tarea principal permitir el intercambio de datos entre los distintos componentes electrónicos del automotor. Existen protocolos de comunicación que estandarizan el intercambio de información, entre los que se destacan CAN [8] y LIN [9]. Asimismo, existen estándares de diagnóstico ampliamente usados (como OBDII [10]) que permiten obtener información valiosa del estado del automotor en un momento dado, como, por ejemplo, las RPM del motor, la velocidad del automotor, la carga del motor y el consumo de combustible, entre otras.

Los dispositivos AVL obtienen ventaja de esta situación al capturar información valiosa del vehículo, disponible gracias a los buses de comunicación. Posteriormente, esta Información la pueden transmitir a fin de que sea almacenada, procesada y visualizada por medio de la plataforma tecnológica. No obstante, determinar qué información se debe transmitir hacia la plataforma tecnológica dependerá del servicio de transporte (taxis, carga, servicio de transporte especial, etc.), lo cual se encuentra fuera del alcance de este artículo.

III. METODOLOGÍA

El análisis de las necesidades y vulnerabilidades de los AVL que actualmente funcionan en vehículos de transporte público en Colombia — así como las recomendaciones — se realizó en conformidad con las pautas de la metodología en V para el desarrollo de productos de tecnologías de la información y las comunicaciones. Esta metodología describe el ciclo de vida de desarrollo de los sistemas, de manera que cada fase describe las actividades que se realizan en el propósito de desarrollar un producto. Las fases que define la metodología se presentan en la figura 3.



Figura 3. Fases de desarrollo de la metodología en V

Como se mencionó antes, este trabajo pretende realizar un análisis de las necesidades y vulnerabilidades de los AVL que operan en Colombia. Por tal motivo, las fases desarrolladas de la metodología en V corresponden a la exploración del sistema y al concepto de operación. El concepto de operación es un documento que realiza un análisis del estado actual de un sistema, identifica sus necesidades y propone un nuevo sistema que satisfaga dichas necesidades. Por lo general, el sistema propuesto se acompaña de una serie de recomendaciones a modo de requisitos, las cuales son el punto de partida para la siguiente fase denominada “Especificación de requisitos del sistema”.

El alcance del presente artículo se limita a la presentación de los resultados de estas primeras etapas de la metodología en V. A continuación, se presentan los resultados más relevantes del trabajo, para lo cual se parte de la situación actual de los AVL en Colombia. Posteriormente, se enumeran las necesidades encontradas en el estado del arte e identificadas en entrevistas realizadas a diferentes actores del sistema de transporte público en Colombia, y que hacen uso de sistemas de rastreo vehicular o AVL. Por último, se presenta la arquitectura propuesta para un AVL seguro en Colombia.

IV. RESULTADOS

A. Situación actual de los AVL en Colombia

En la actualidad, los sistemas AVL son ampliamente usados en el mundo en diferentes modos de transporte. En el transporte por carretera, los sistemas AVL se emplean para la gestión de la flota de vehículos de transporte urbano y transporte intermunicipal. Algunos ejemplos se encuentran en regiones tales como New Jersey, Chicago, Minneapolis y Seattle en Estados Unidos (EE. UU.), Ottawa y Montreal en Canadá, o Eindhoven en Holanda [11]; Cagliari y Génova en Italia [12]-[13], Melbourne en Australia [14], Toulouse en Francia [12] y Londres en el Reino Unido [15], entre otras. Muchas de las aplicaciones de transporte que usan sistemas AVL procesan los datos de localización de los vehículos con el fin de obtener otro tipo información relevante para el funcionamiento y la planeación de los sistemas de transporte.

En Colombia existe desde hace varios años un mercado para los sistemas AVL que normalmente se conocen como “rastreadores GPS”, “localizadores vehiculares”, “GPS trackers” o, simplemente, “GPS”. Sin importar la denominación que se les da, la funcionalidad básica es la misma: se trata de un sistema conjunto entre un rastreador GPS y una plataforma tecnológica que recopila los datos tomados del vehículo por medio del dispositivo, los almacena, los presenta al usuario e, incluso, los procesa para ofrecer algún tipo de análisis de interés (p. ej. conducta del conductor, control de flotas o modo de empleo del vehículo).

A continuación, se realiza una descripción de los dispositivos AVL usados en Colombia, de acuerdo con el servicio de transporte público en el que se suelen utilizar.

1. Autobuses de tránsito rápido: actualmente, en Colombia funcionan diferentes dispositivos electrónicos a bordo de los vehículos para gestión de flota. En algunos autobuses de tránsito rápido (BRT) se instalan dispositivos a bordo que permiten gestionar la flota desde un centro de control. Sistemas como Transmilenio [16], Metro Cali Mio, Transcaribe [17], Metrolínea [18], y otros, instalan unidades abordo (unidades lógicas) a fin de realizar su operación de manera eficiente. Entre las funciones que deben cumplir dichas unidades se encuentran [19]:

- Geolocalización. Estos dispositivos envían información de geolocalización a servidores con sistemas de información geográfica con el objetivo de visualizarla y procesarla. A partir de la posición de un vehículo es posible prestar servicios de geocercas o geovallas que permiten generar alertas cuando los vehículos se encuentran fuera de un área predeterminada [20].
- Monitorización de consumo de combustible. Las unidades instaladas permiten medir y transmitir el consumo de gasolina.
- Identificación del conductor. Algunas de las unidades lógicas instaladas permiten al conductor ingresar un número de identificación y una contraseña, a fin de confirmar la identidad de la persona al volante.
- Velocidad. Los vehículos cuentan con sistemas de medición de velocidad.
- Aceleración y desaceleración.
- Mecanismos de apertura de puertas.

Los dispositivos empleados en este tipo de transporte público son de los más avanzados que encontramos en el país, por cuanto se han definido en la política pública a nivel local, y se ha gestionado su uso desde el principio de la operación de los autobuses. Estas unidades lógicas las componen sistemas embebidos con medianas prestaciones de procesamiento y almacenamiento como, por ejemplo, procesadores Atom, memorias RAM de 2 GB, interfaces Bluetooth clase 2, wi fi 802.11, almacenamiento de 16 GB y múltiples interfaces físicas. Todos estos elementos se encuentran en un encerramiento (gabinete) apropiado para las condiciones de los vehículos de transporte público en operación [19]. Sin embargo, estos dispositivos se diseñan en el exterior, donde las condiciones de operación pueden ser diferentes a las que se presentan en Colombia.

Así como en los sistemas BRT, las flotas de autobuses integradas a estos sistemas (tales como SITP, Metro Cali, TransCaribe o Metrolínea, entre otros) también hacen uso de unidades lógicas o dispositivos abordo para la gestión de la flota. Los dispositivos que se emplean en estos vehículos presentan unas características similares a los que se emplean en los BRT, debido a que las normas que los rigen son también similares.

Actualmente, los dispositivos AVL o las unidades lógicas instalados en los vehículos de transporte masivo han demostrado ser parte fundamental del sistema en el propósito de operar exitosamente. Sin embargo, durante la operación de los sistemas de transporte público se han presentado problemas relacionados con el mal funcionamiento de estos dispositivos por causas relacionadas con factores de seguridad, mantenimiento y uso, entre otras [21].

2. Transporte público individual: el transporte público terrestre automotor individual de pasajeros en los niveles básico y de lujo es “aquel que se presta bajo la responsabilidad de una empresa de transporte legalmente constituida y debidamente habilitada en esta modalidad, de forma individual, sin sujeción a rutas ni horarios, donde el usuario fija el lugar o sitio de destino. El recorrido será establecido libremente por las partes contratantes” [22]. Los dispositivos AVL se usan desde hace más de 20 años en vehículos de transporte público [23] con el fin de aumentar la seguridad de sus conductores. Hoy en día, a pesar de que no existe una política pública que exija el uso de estos dispositivos en modalidades básicas y de lujo en el país, muchas de las empresas que administran vehículos para transporte público individual hacen uso de dispositivos de localización automática vehicular con el fin de gestionar la flota de vehículos, aumentar la seguridad de los conductores y de los vehículos. Sin embargo, muchas de las funciones que prestan estos dispositivos son muy elementales y, por lo general, se limitan a informar la ubicación de cada vehículo. Lo anterior se debe, en buena medida, a que un AVL con prestaciones básicas es de muy bajo coste y de fácil acceso. Por otra parte, los AVL instalados en vehículos presentan problemas con frecuencia durante la operación, debido a fallas técnicas en los dispositivos, alteraciones realizadas por terceros no autorizados o falta de mantenimiento. Como resultado, el control realizado a la flota de vehículos de transporte público individual en Colombia es muy básico y deja de lado la monitorización de la conducción y el control en las vías, lo cual reduce la calidad del servicio prestado al usuario.

3. Transporte de carga: el transporte de carga es uno de los primeros sectores en los que se empezó a emplear los sistemas de localización automática vehicular [24]. Actualmente, la gran mayoría de los vehículos para el transporte de carga tienen instalada esta tecnología, incluso con prestaciones adicionales tales como medición de aceleración, velocidad, apertura de puertas, temperatura y revoluciones del motor, peso de la carga, entre otras. Adicionalmente, es frecuente que las entidades que requieren transportar su carga exijan mecanismos de monitorización de la ubicación y el estado de ella.

4. Transporte intermunicipal: en el transporte intermunicipal también se emplean desde hace un tiempo los sistemas AVL. Actualmente, las empresas de gestión de flota de vehículos de transporte intermunicipal hacen uso de estos sistemas con el fin de conocer la posición de los vehículos que recorren grandes distancias a diario [25]. Asimismo, en muchas situaciones los AVL instalados en las flotas de autobuses miden variables como, por ejemplo, la velocidad, la aceleración, la apertura de puertas, la temperatura del motor y el tiempo de conducción. Sin embargo, actualmente la política pública no define las características mínimas de los AVL a fin de emplearse en vehículos de transporte intermunicipal. Por tal motivo, hoy en día no existen unas características uniformes en los AVL instalados en dichos vehículos, y estas dependen exclusivamente de las normas o políticas internas de cada empresa.

5. Servicios de transporte especial: el servicio público de transporte terrestre automotor especial en Colombia es “aquel que se presta bajo responsabilidad de una empresa de transporte legalmente constituida y debidamente habilitada en esta modalidad a un grupo de personas que tengan una característica común y homogénea en su origen y destino” [26]. Las empresas que prestan este servicio de transporte, según la política pública [26], deben proveer a sus vehículos con sistemas de monitorización vehicular, a fin de vigilar la prestación del servicio. Sin embargo, al igual que en los otros casos, las características técnicas de los sistemas de monitorización no están definidas, lo que da lugar a problemas de funcionamiento pleno durante la operación.

B. Proveedores de dispositivos AVL

A continuación, se identifican los tipos de empresas que ofrecen servicios y soporte de sistemas AVL en Colombia.

1. Fabricantes e importadores con equipo original (OEM): similar al caso internacional, existen dispositivos en el mercado nacional que son originales del fabricante. En este caso, la empresa encargada de ensamblar o de importar al vehículo, tiene la posibilidad de instalar en el mismo el dispositivo electrónico que puede, posteriormente, activarse con el fin de recopilar la información que el usuario necesite. Estos equipos no se desarrollan en Colombia y se importan junto con el automotor o junto con sus partes según sea el caso (importación o ensamblaje).

Un ejemplo conocido y significativo en el mercado nacional es Chevystar de Colmotores, el cual ha sido un soporte tecnológico para aquellos que adquieren automotores de la marca Chevrolet. Dichos dispositivos vienen de fábrica instalados en el vehículo y ofrecen una gama de servicios, como, por ejemplo, geolocalización y medidas en contra del hurto vehicular.

Otro ejemplo es el de Daimler, la marca representante de Mercedes Benz en Colombia, la cual tiene un sistema AVL denominado “Trace”, procedente de Alemania. Este se ha instalado de manera exitosa para el control de flotas en una cantidad significativa de buses pertenecientes al Sistema Integrado de Transporte Público SITP de Bogotá. Este hecho demuestra que la implementación de este tipo de sistemas no solo es viable, sino necesaria en el propósito de solucionar muchas de las necesidades que se expondrán más adelante en este artículo.

2. Empresas nacionales importadoras con servicio de instalación posventa: existe otro sector del mercado compuesto por empresas que importan dispositivos electrónicos (en su gran mayoría equipos provenientes de China), las cuales ofrecen el servicio de instalación y disposición de la información (por medio de una plataforma tecnológica a veces desarrollada en Colombia) después de que el vehículo se vende (*aftermarket*).

3. Empresas nacionales desarrolladoras con servicio de instalación posventa: existen empresas nacionales que se encargan del diseño y el desarrollo de sus propias plataformas tecnológicas y dispositivos electrónicos. Estas son una minoría en el mercado, pero se encuentran casos concretos de éxito en este tipo de empresas. Por ejemplo, el Decreto 2261 de noviembre de 2012 del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de Colombia establece en el artículo 6 que la maquinaria amarilla que se importa en Colombia debe

contar con equipo de rastreo vehicular. Asimismo, la Resolución 2086 del 30 de mayo de 2014 de la Policía Nacional, “fija las condiciones técnicas del equipo, instalación, identificación, funcionamiento y monitoreo de sistema de posicionamiento global (GPS)” (lo anterior para uso reglamentario de dicha maquinaria). Las condiciones específicas de dicha resolución fueron aprovechadas por proveedores nacionales a fin de implementar soluciones tecnológicas (similares a dispositivos AVL) que cumpliesen con las condiciones establecidas.

4. Empresas extranjeras con presencia en Colombia: otro sector del mercado lo componen las empresas extranjeras que desarrollan sus sistemas *hardware* y *software* por fuera del país, pero tienen presencia en Colombia y brindan soporte a sus propios productos. Esto sucede cuando el sistema a implementar es suficientemente grande y complejo. Un ejemplo es el sistema de transporte urbano de Santiago de Cali, MIO. En este caso, el sistema de control de flotas y gestión del sistema IT fue otorgado por Metro Cali S. A. a la empresa belga IVU Traffic Technologies AG. El sistema implementado originalmente manejaba alrededor de 1000 buses y se encargaba, entre otras cosas, de recopilar información directamente de cada bus en el sistema, con el objetivo de cumplir con la planificación de las rutas de este. Para esto fue necesario la instalación de dispositivos AVL que permitieran conocer la posición del vehículo en cada momento. Otros ejemplos que vale la pena resaltar de empresas extranjeras o multinacionales que han participado en la implementación de sistemas de transporte masivo en Colombia son: ETRA, con su participación en el sistema integrado de transporte de Bogotá (proyecto Sirici), e Indra, con su participación en la implementación de la plataforma tecnológica de gestión integral de la movilidad de la ciudad de Medellín.

C. Necesidades de los dispositivos AVL en Colombia

En el marco del Plan Nacional de Desarrollo (Tomo I, Parte V, Objetivo 6: “Desarrollo de infraestructura vial y de transporte e inclusión coherente en las tecnologías de la información y las comunicaciones, así como el acceso a energías sostenibles, en la perspectiva de cerrar brechas productivas”), el Ministerio de Transporte tiene como prioridad contar con nuevas herramientas tecnológicas adecuadas que permitan mejorar muchos de los aspectos actuales del transporte público terrestre en Colombia.

No obstante, los dispositivos AVL que se usan actualmente en Colombia solo alcanzan a satisfacer parcialmente las necesidades del sector de transporte público en el país. Además de los requisitos funcionales de geolocalización, transmisión de datos y disponibilidad que normalmente satisfacen los dispositivos AVL, existen otras necesidades puntuales que no están cubiertas hoy en día, las cuales se exponen en esta sección.

La Tabla 1 presenta las necesidades que deben satisfacer los dispositivos AVL integrados a los servicios de transporte público terrestre en Colombia, con el fin de facilitar la eficiencia y seguridad de estos servicios. Se clasifican en dos tipos de necesidades: necesidades del sector de transporte público del país, y necesidades relacionadas con la seguridad de los AVL para que ejerzan sus funciones de manera confiable.

Tabla 1. Necesidades de los dispositivos AVL en Colombia

Tipo	#	Necesidad
Necesidades del transporte público terrestre colombiano	N1	Transporte más seguro. Es necesario mejorar la seguridad en las vías del país. Un sistema AVL podría ayudar a satisfacer esta necesidad así: el conocimiento en tiempo real de algunas variables físicas de los vehículos de transporte público permitirá identificar de forma oportuna los automotores que no están en condiciones de prestar el servicio; asimismo, se podrán establecer parámetros de conducta al volante de los conductores. Por ejemplo, se podrá llevar un registro de aceleraciones/desaceleraciones abruptas, de manera que se podrán establecer controles de seguridad vial efectivos que se traducirán en carreteras más seguras.
	N2	Información sobre los vehículos de transporte público terrestre legalmente registrados. Es necesario conocer de forma ágil la realidad del parque automotor de servicio público en Colombia. Mediante dispositivos AVL instalados en los vehículos de transporte público es posible potenciar la obtención de primera mano (en tiempo real) de información relacionada con el estado de las vías del país y los vehículos de servicio público que circulan por estas.
	N3	Información homogénea y centralizada. Es necesario que la información sea homogénea y esté centralizada, a fin de garantizar su consistencia y su disponibilidad. Todos los dispositivos AVL deben utilizar los mismos estándares y formatos para la comunicación de la información. Esto permitirá conocer información importante que actualmente es difícil de obtener. Por ejemplo: la tasa de crecimiento del parque automotor, las rutas más usadas y el comportamiento al volante de los conductores, entre otros.
	N4	Identificación vehicular única. Es necesario que cada vehículo legalmente registrado cuente con un identificador único dentro del sistema. De esta manera, se puede garantizar que la información proporcionada por dicho identificador único corresponde a la del vehículo que efectivamente circula por las vías del país. Se debe considerar el número de identificación vehicular (VIN) como parte del identificador [27].
	N5	Soluciones al problema de la piratería de rutas. La anterior necesidad (N4) se relaciona estrechamente con la búsqueda de soluciones a la problemática de la piratería de rutas. Con un sistema AVL las autoridades contarán con un dispositivo que les permitirá combatir la ilegalidad y ejercer un control y una vigilancia más efectivos.
	N6	Soluciones al problema de clonación de vehículos. La identificación única de vehículos (N4) también ayudaría a combatir la problemática de la clonación vehicular. De esta forma, contaríamos con un parque automotor de transporte público con una gran mayoría de vehículos legalmente registrados, lo cual elimina la competencia desleal y, al mismo tiempo, beneficia a usuarios y empresas transportadoras.
	N7	Seguridad física de los pasajeros y la carga. También existe la necesidad de incrementar la seguridad de las personas y los bienes que se transportan por las carreteras colombianas. La información suministrada por los AVL se puede constituir en la base de las herramientas efectivas contra diversos delitos que ocurren en vehículos de transporte público, tales como: hurto, secuestro y fleteo. Las autoridades podrían acceder a información detallada de los vehículos, y tendrán la posibilidad de actuar de manera oportuna cuando ocurra cualquier tipo de transgresión contra la integridad de los usuarios o la carga.
	N8	Información disponible para los operadores de la flota de vehículos. Un sistema AVL debe permitir a los operadores de los diferentes servicios de transporte público contar con canales de datos que garanticen la disponibilidad de la información de la flota. Debe ser posible establecer la comunicación con los vehículos por diferentes canales. De esta forma, se evitarían colapsos o retrasos en el servicio en casos de emergencia cuando el canal principal de comunicación no esté disponible. En el caso de los buses de los sistemas de transporte masivo esto resulta particularmente útil.
	N9	Dispositivos AVL que suministren información de la identidad del conductor. La información del conductor es otro aspecto que debe registrarse a fin de complementar la información del servicio público.

Continúa...

Necesidades de seguridad de los dispositivos AVL	N10	Autonomía. Es importante que los dispositivos AVL sean autónomos, es decir, que no dependan de la intervención humana para su funcionamiento.
	N11	Normas internacionales de seguridad eléctrica. Se ha evidenciado que algunos dispositivos electrónicos, instalados por terceros no autorizados por los fabricantes de vehículos, han presentado incidentes de seguridad eléctrica. Por tal motivo, es importante que los dispositivos AVL cumplan con normas de seguridad internacionales que garanticen su funcionamiento en vehículos automotores sin poner en riesgo a los usuarios del servicio ni su prestación.
	N12	Capacidad de funcionar sin fuente externa por un tiempo definido. Aunque la fuente de alimentación de los dispositivos AVL, por lo general, es la batería del mismo vehículo, es necesario que el dispositivo no dependa exclusivamente de esta para su funcionamiento, ya que con una simple desconexión de la batería el AVL quedaría vulnerable. Para esto se debe garantizar que el dispositivo AVL cuente con una fuente de alimentación propia que sirva de respaldo en caso de un evento de desconexión de la batería del vehículo.
	N13	Capacidad de almacenamiento interno de información. En caso de pérdida de comunicación con la plataforma tecnológica, el dispositivo AVL debe tener la capacidad de almacenar información en un dispositivo local. Cuando se restablezca la comunicación, el AVL debe enviar toda la información que no fue posible transmitir antes.
	N14	Confiabilidad de la información. Es necesario que cada dispositivo garantice la confiabilidad de la información que reporta. Todos los datos relacionados con el servicio y con la geolocalización del vehículo deben ser confiables.
	N15	Capacidad de evitar que el <i>hardware</i> se manipule de forma indebida. Es importante garantizar que el <i>hardware</i> del dispositivo AVL no se vulnere. El dispositivo debe tener la capacidad de detectar cualquier situación anómala y emitir las alertas correspondientes. Para esto se definen las siguientes alertas:
		Alarma de incapacidad de obtener la posición geográfica. El AVL debe transmitir una alarma en el evento de que el módulo GNSS no se encuentre en capacidad de adquirir información válida sobre la posición geográfica por un periodo de tiempo considerable.
		Alarma de ausencia de fuente externa. El AVL debe transmitir una alarma en el evento de que la fuente externa de alimentación no esté presente y se encuentre funcionando con la fuente de respaldo.
		Alarma de reconexión de batería. El AVL podría llegar a apagarse debido a una descarga total de la fuente de respaldo. Esto ocurre en el escenario en que se desconectó la batería externa del vehículo y el AVL deba funcionar con la fuente de respaldo durante un tiempo prolongado, lo que ocasionará la descarga total del sistema de fuente interna. En este caso, se debe generar una alarma que informe acerca del agotamiento de la batería interna, una vez se recupere la alimentación externa y se proceda a recargar la fuente interna.
		Alarma de apertura. Se debe generar una alarma que alerte acerca de la apertura de la caja (gabinete) en la que se ubica el <i>hardware</i> del dispositivo AVL dentro del vehículo.
		Alarma de desinstalación. Se debe generar una alarma que alerte acerca del intento de remoción del vehículo del dispositivo AVL.
		Alarma de movimiento anómalo. El AVL debe generar una alarma que alerte acerca de movimientos anómalos o que no pertenecen a los movimientos generados por el vehículo en operación. Esto puede indicar que se removió el dispositivo y lo están manipulado.
		Alarma de restablecimiento de comunicación. Si el dispositivo AVL pierde la comunicación con la plataforma tecnológica, no solo debe almacenar localmente la información y transmitir todos los datos que no pudo enviar durante una pérdida de la conexión con la plataforma tecnológica una vez se restablezca la comunicación, sino que también debere portar una alarma e informar el evento de pérdida de comunicación.
		Alarma de error en lectura del VIN. El AVL debe transmitir una alarma en el evento de que el VIN no concuerde con el del vehículo en el que se instaló originalmente, o si no detectó el VIN de forma correcta.

Continúa...

Necesidades de seguridad de los dispositivos AVL		Información que no pueda ser interceptada/alterada por terceros. Los dispositivos AVL deben considerar diferentes mecanismos <i>software</i> de seguridad a fin de evitar la interceptación/alteración de la información que proveen. Incluye:
		Los servicios remotos del sistema operativo del AVL deben estar deshabilitados.
		Interfaces de comunicación inalámbricas que no se usen deben estar deshabilitadas.
	N16	Puertos o interfaces digitales que no se usen deben estar deshabilitadas.
		Protocolos de seguridad en las comunicaciones entre el AVL y la plataforma tecnológica.
		La autenticación de dispositivos AVL y las actualizaciones de <i>software</i> del AVL se deben controlar estrictamente desde una plataforma centralizada.
		Controlar el intercambio de información que se lleve a cabo entre el dispositivo AVL y un dispositivo externo a través de una interfaz inalámbrica.
	N17	Capacidad de emitir alarmas confiables. Es importante que las alarmas reportadas también sean confiables y se minimicen los falsos positivos reportados. Esto alertará a las autoridades pertinentes para tomar las medidas correspondientes.
	N18	Capacidad de almacenar alertas que no puedan transmitirse. La incapacidad de transmitir información o alertas es un escenario que seguramente se presentará. Sin embargo, esto no debe suponer la pérdida de dichas alertas, ya que estas deben transmitirse cuando se restablezca la comunicación. Será necesario un sistema de almacenamiento local capaz de guardar la información no transmitida en un lapso de tiempo razonable, como se mencionó en N13.

D. Arquitectura propuesta para un AVL seguro en Colombia

1. *Alcance:* es necesario considerar que un dispositivo AVL se puede emplear en vehículos de transporte público que prestan diferentes servicios, tales como transporte público individual, de carga, intermunicipal o de servicio especial, entre otros. Por tanto, el sistema propuesto en este artículo hace parte fundamental de un sistema más complejo a bordo del vehículo. Este sistema a bordo —denominado “sistema de monitorización vehicular” (SMV)—, además del dispositivo AVL, lo conforman otros dispositivos periféricos (pantallas y botón de pánico, entre otros) que permiten gestionar la información particular de cada servicio (Figura 4). En este artículo nos centraremos en analizar los requisitos de los dispositivos AVL únicamente.

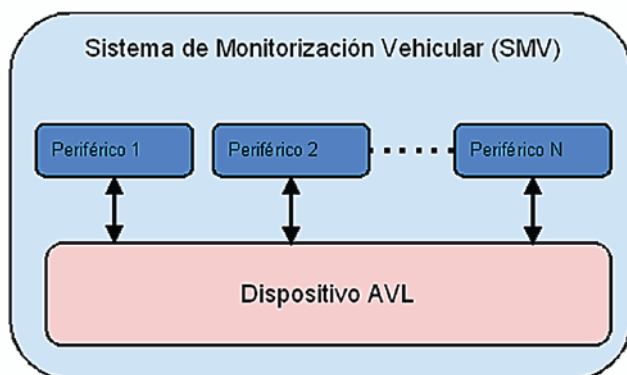


Figura 4. Sistema de monitorización vehicular (SMV)

2. Descripción del dispositivo AVL propuesto para Colombia: en esta sección se presentan las características técnicas propuestas que debe tener un dispositivo AVL en Colombia a fin de incrementar su seguridad. El dispositivo AVL debe estar instalado en el automotor y registrar información relacionada de manera segura y unívoca con dicho vehículo. Así, se garantiza siempre que tanto la información como su origen sean válidos, veraces y confiables. La Figura 5 presenta los bloques fundamentales de *hardware* que debe tener el dispositivo AVL para realizar funciones de procesamiento en tiempo real, geolocalización, telecomunicaciones y seguridad.

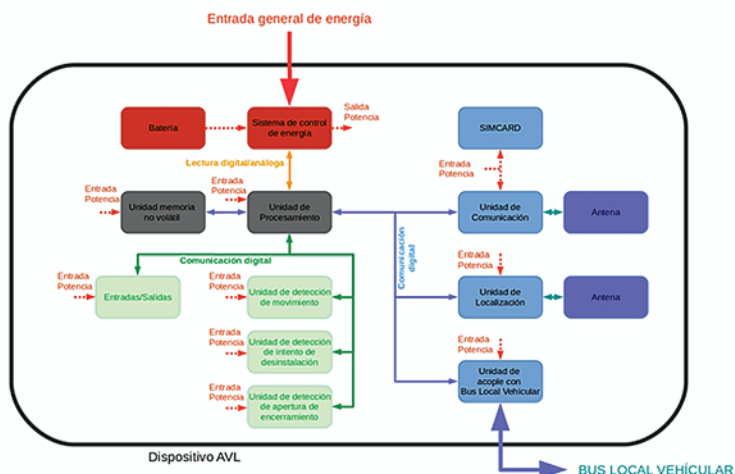


Figura 5. Componentes hardware del dispositivo AVL para vehículos de servicio público de transporte terrestre automotor en Colombia

a. *Unidad de procesamiento*: es necesario que el *hardware* del dispositivo cuente con una unidad central de procesamiento sobre la cual puedan ejecutarse los módulos *software* encargados del control y monitoreo del dispositivo.

b. *Unidad de comunicación*: es la unidad de *hardware* que le da al dispositivo la posibilidad de comunicar información de geolocalización y alarmas hacia la plataforma tecnológica (por medio de dos canales diferentes), según se disponga en los parámetros de configuración.

c. *Unidad de localización*: es la unidad de *hardware* que le da al dispositivo la posibilidad de adquirir las coordenadas geográficas en cualquier instante dado.

d. *Unidad de acople con bus local vehicular*: es el *hardware* necesario que le da la posibilidad al dispositivo de obtener información directamente de la computadora del vehículo por medio del bus local de comunicación del automotor.

e. *Unidad de memoria no volátil*: es la memoria no volátil necesaria para almacenar la información y las posibles alarmas que no puedan transmitirse a la plataforma tecnológica debido a fallas en la red o carencia de conectividad.

f. *Sistema de control de energía*: es el encargado de detectar ausencia de batería externa del vehículo y de intercambiar cuando sea necesario la alimentación del sistema por parte de la batería interna. Además, si la batería interna se ha descargado, este sistema es el encargado de cargarla cuando se detecte nuevamente energía externa.

g. *Unidad de protección de la integridad del AVL*: es una parte del AVL encargada de detectar y notificar eventos en que se pueda vulnerar la seguridad del AVL. Esta unidad se divide en tres partes:

Unidad de detección de intento de desinstalación. Es la encargada de darle al dispositivo la posibilidad de detectar si hay un intento de desinstalación, desconexión o remoción del automotor.

Unidad de detección de movimiento. Es la encargada de darle al dispositivo la posibilidad de detectar anomalías en el movimiento del dispositivo, lo que podría inferirse como un intento de manipulación de este.

Unidad de detección de apertura de encerramiento. Es la encargada de darle al dispositivo la posibilidad de detectar si el encerramiento (gabinete o caja del dispositivo) se ha abierto.

h. Entradas y salidas: es el *hardware* necesario para que el dispositivo tenga la posibilidad de contar con la detección en el cambio de estado de los pines de entrada (por ejemplo: botón de pánico), o alterar el estado de los pines de salida (por ejemplo, inmovilización del automotor).

V. DISCUSIÓN

La arquitectura propuesta tiene como objetivo suministrar la localización de un vehículo de forma automática, así como preservar la seguridad de la información y del dispositivo. La discusión de los resultados de este trabajo se presenta a manera de recomendaciones que los diseñadores deben tener en cuenta a fin de cumplir con este objetivo. Las recomendaciones se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Recomendaciones para el diseño de un dispositivo AVL seguro

#	Recomendación
1	La operación del AVL debe realizarse de manera autónoma. El AVL no debería requerir de la intervención humana para su operación.
2	El AVL debe enviar información de forma automática a la plataforma tecnológica del Estado.
3	Ningún usuario debe tener acceso a las partes internas del dispositivo a fin de evitar manipulaciones indebidas. Las únicas conexiones autorizadas se realizarán mediante la plataforma tecnológica.
4	El AVL debería estar presente todo el tiempo en el vehículo de transporte público que está registrado en la plataforma tecnológica. No debe desinstalarse del vehículo sin la autorización previa.
5	Los componentes electrónicos y mecánicos del AVL deben ubicarse dentro de un gabinete sellado que debe estar instalado y fijo en el vehículo.
6	En la parte exterior del gabinete no deben existir puertos físicos adicionales a los que se muestran en la arquitectura propuesta.
7	El AVL debe tener las características físicas que le permitan soportar ambientes propios de los vehículos de transporte público.
8	Los AVL deben acreditar que cumplen con normas de seguridad mediante un estándar internacional. Este proceso debe considerar verificaciones en: materiales de las carcasas, pruebas eléctricas y mecánicas, existencia de aislamientos antiincendios, inspección de procesos de fabricación, etc.
9	El AVL debe contar con la garantía por parte de los fabricantes o proveedores de tecnología, quienes deben tener instalaciones y equipos en Colombia, con disponibilidad de personal calificado para proporcionar un servicio de soporte técnico y reparación 24 x 7.
10	La unidad de acople con el bus vehicular debe estar en capacidad de entregar al menos el identificador del vehículo (VIN), la velocidad y la aceleración.
11	La unidad de localización debe estar basada en una tecnología que permita obtener información de la ubicación del vehículo en un radio con una precisión aceptable, menor o igual a 10 metros.
12	La información que se obtenga a partir del dispositivo de geolocalización debe estar siempre disponible para transmitirla a la plataforma tecnológica, o bien para almacenarla localmente cuando no sea posible establecer una conexión confiable con esta.

Continúa...

13	El sistema de geolocalización vehicular debe ubicarse dentro del gabinete sellado del AVL. El dispositivo de transmisión de datos —lo que incluye su etapa de radiofrecuencia, su tarjeta SIM y su antena—, debe ubicarse en el interior del gabinete sellado del AVL con el propósito de evitar la alteración de alguno de los componentes. Debe garantizarse que la ranura para la conexión de la tarjeta SIM sea accesible exclusivamente al fabricante o proveedor de tecnología, o al personal autorizado de servicio técnico.
14	La unidad de comunicación debe establecer un canal de telecomunicaciones exclusivo para transmitir datos entre el AVL y la plataforma tecnológica.
15	La información a transmitir por el AVL debe incluir: Información de geolocalización del vehículo. Número de identificación del dispositivo AVL (AVL-ID). Alarmas del AVL. Indicadores de la calidad de conducción: velocidad y aceleración.
16	El AVL-ID debe estar formado por datos que garanticen la identidad del dispositivo y la relacionen con el vehículo. Por ejemplo: el número de identificación vehicular (VIN): 17 bytes; la placa del vehículo: 6 bytes; un número único que identifique el <i>hardware</i> del AVL (ID microprocesador): 8 bytes; un identificador del proveedor del dispositivo AVL: 1 byte.
17	Debe garantizarse que el dispositivo de transmisión de datos esté siempre encendido y transmita de forma regular y prioritaria la información de geolocalización. La operación de este dispositivo debe ser continua aun si el vehículo no se encuentra dentro de la zona de cobertura. En este caso, se debe generar un reporte en el cual se informe que las funciones del sistema se han ejecutado en modo local, y trasladar la información al dispositivo de almacenamiento (unidad de memoria no volátil). Tan pronto el dispositivo AVL sea capaz de restablecer la comunicación con la plataforma tecnológica, se debe transmitir la información almacenada localmente.
18	La unidad de memoria no volátil debe almacenar de forma automática la siguiente información: Los datos de geolocalización. El identificador del AVL (AVL-ID). La información de los sensores del vehículo durante el último mes, a fin de facilitar el monitoreo de la calidad de conducción y la reconstrucción de accidentes. Además, posibles alarmas que se puedan haber presentado durante la ausencia de comunicación con la plataforma tecnológica.
19	Para la unidad de almacenamiento se recomienda la utilización de una unidad de almacenamiento de estado sólido (SSD) o algún dispositivo con rendimiento equivalente, debido a que debe contar con un sistema de protección antichoque y antivibraciones.
20	El dispositivo de procesamiento debe tener la capacidad de gestionar la intercomunicación entre los componentes <i>hardware</i> del AVL, la información de los sensores del vehículo, la correcta ejecución del componente <i>software</i> del AVL, el proceso de telecomunicación con la plataforma tecnológica, la gestión de la información de geolocalización del vehículo, la administración de la unidad de almacenamiento y la gestión de alarmas.
21	El dispositivo de procesamiento debe tener la capacidad de soportar la ejecución del núcleo de un sistema operativo o utilizar una tecnología equivalente que le permita garantizar la seguridad y el control de la información que procesa y de los periféricos que controla.
22	La unidad de procesamiento también debe contar con un mecanismo de seguridad que genere un <i>reset</i> , a fin de evitar que el sistema deje de funcionar cuando el dispositivo de procesamiento esté bloqueado (<i>watchdog</i>).
23	La unidad de procesamiento también debe contar con un sistema de protección térmica que esté basado preferiblemente en disipación pasiva de calor.

Continúa...

24	Es recomendable que la fuente principal de alimentación del AVL sea la energía eléctrica de la batería del vehículo. Sin embargo, los componentes del AVL requieren diferentes niveles de tensión y distintos valores de corriente eléctrica para su funcionamiento, por lo cual debería incluirse un convertidor DC-DC. Además, deben incluirse también dos componentes que permitan garantizar la confiabilidad del sistema de alimentación eléctrica: Una batería de respaldo. Esta permite garantizar que el AVL opere con funciones limitadas por un periodo de tiempo suficiente cuando la batería principal del vehículo se desconecte del sistema por cualquier motivo. - Un sistema de protección eléctrica. Con el fin de que los dispositivos electrónicos queden desconectados de los cables de alimentación eléctrica si llega a presentarse una falla.
25	El sistema de alimentación eléctrica debe entregar a los componentes del AVL los niveles de tensión y los valores de corriente eléctrica necesarios y suficientes para su funcionamiento continuo.
26	Se recomienda construir el sistema de protección de integridad del AVL con sensores eléctricos, mecánicos y componentes <i>software</i> que permitan determinar cuándo se ha realizado una manipulación no autorizada del dispositivo. Su función es la de proteger el dispositivo ante posibles vulnerabilidades y notificarlas a la plataforma tecnológica. Esta unidad la componen la unidad de detección de intento de desinstalación, la unidad de detección de movimiento y la unidad de detección de apertura de encerramiento.
27	La unidad de detección de intento de desinstalación debe ser la encargada de detectar si el AVL se ha removido de su lugar de instalación inicial. Esto puede lograrse mediante sensores que determinen un cambio en la posición original del dispositivo AVL, por ejemplo, el ángulo en que reposa dentro del vehículo. Como respuesta a un evento de desinstalación, esta unidad genera una alarma que debe transmitirse a la plataforma tecnológica. La desinstalación debe ser entendida como remoción, desconexión o desensamblado del dispositivo.
25	La unidad de detección de movimiento debe disponer de una unidad de detección de movimientos anómalos del AVL. Esto permitirá determinar si se intenta remover el AVL de su ubicación original.
26	La unidad de detección de apertura de encerramiento busca evitar que se presente algún tipo de manipulación del AVL por parte de una persona no autorizada, lo cual pueda resultar en una avería del dispositivo o en alguna situación en la que se comprometa su seguridad. Debe ser capaz de detectar y reportar la apertura del gabinete del AVL. Cuando se presente esta situación, deben transmitirse señales de alarma a la plataforma tecnológica para que esta las gestione y pueda tomar medidas al respecto.
27	La plataforma tecnológica debe dar respuestas oportunas y adecuadas a las alarmas, de acuerdo con cada situación de anomalía que se reporte. Para esto, se definen los siguientes tipos de alarmas que deben transmitirse por el AVL: Alarmas tipo 1. Es el tipo de alarma con mayor grado de prioridad, y exige una respuesta inmediata por parte de la plataforma tecnológica. Cuando el AVL transmita una alarma tipo 1, se entiende que la seguridad del dispositivo está en riesgo inminente. Omitir este tipo de alarma pone en riesgo los componentes <i>hardware</i> y <i>software</i>, así como la información proporcionada por el AVL. Alarmas tipo 2. Este tipo de alarma exige un grado menor de prioridad en su atención por parte de la plataforma tecnológica; sin embargo, debe tomarse como una prealerta de una alarma tipo 1. La respuesta de la plataforma tecnológica debe garantizar que este tipo de alarma no se traduzca en una situación de mayor gravedad que vulnere la seguridad del AVL. Alarmas tipo 3. Este tipo de alarma es el de menor gravedad. Se puede considerar como una advertencia de que se ha encontrado una situación que no es completamente normal. Esta alarma no significa que se está vulnerando el sistema, pero la respuesta de la plataforma tecnológica debe garantizar que la gravedad de la alarma no se eleve.

Continúa...

A continuación, se definen las alarmas que debería generar el AVL:

Alarma de descarga de la batería interna-Tipo 1. Antes de una descarga total de la batería interna, se recomiendan las siguientes acciones. Si el dispositivo alcanza el límite de descarga de la batería interna, almacenará su estado actual, la fecha y la hora del suceso en la memoria no volátil, y entrará en un modo de ahorro de energía profundo, del cual solo despertará en caso de que nuevamente se detecte la batería externa. Mientras el aparato se encuentre en dicho estado de ahorro de energía no se podrán detectar ni realizar más acciones. Cuando el sistema vuelva a estar conectado a una fuente externa, “despierte” y tenga la capacidad de transmitir datos, emitirá una alarma tipo 1 e indicará que ocurrió un evento de descarga total de la batería interna.

Alarma de apertura de caja-Tipo 1. Si se cuenta con carga en la fuente interna del dispositivo y con la posibilidad de transmitir alarmas, independiente de cualquier otro tipo de condición, si se detecta la apertura del gabinete o caja del AVL debe emitirse una alarma tipo 1. Si no se cuenta con la posibilidad de transmitir información, el suceso debe almacenarse en memoria no volátil con la fecha y la hora, para que posteriormente cuando se vuelva a contar con la posibilidad de transmitir se informe sobre el suceso.

Alarma de desinstalación-Tipo 1. Si se detecta un intento de desinstalación y se cuenta con carga en la fuente interna del dispositivo, hay dos posibilidades: 1. El AVL tiene la posibilidad de transmitir datos —en este caso generará una alarma tipo 1— e informará sobre el suceso; y 2. El dispositivo no tiene la posibilidad de transmitir y se registra el suceso en la memoria no volátil para su posterior retransmisión.

Alarma de movimiento anómalo. Normalmente, el dispositivo AVL estará sujeto a vibraciones y movimientos propios de las fuerzas ejercidas por el desplazamiento normal del vehículo. Estas deben ser asumidas y no generar ningún tipo de alarma. No obstante, si se detecta un movimiento anormal, se debe emitir una alarma urgente, siempre y cuando exista carga en la fuente interna y sea posible transmitir. Si no es posible esto último, se debe almacenar el suceso en la memoria no volátil para su posterior retransmisión. El tipo de alarma dependerá de la gravedad de la anomalía detectada:

Alarma de movimiento anómalo-Tipo 1. Esta alarma notifica que el movimiento anómalo del AVL fue de intensidad considerable o de duración prolongada.

Alarma de movimiento anómalo-Tipo 2. El movimiento anómalo fue de intensidad y duración moderadas.

Alarma de reconexión a la red de comunicaciones-Tipo 3. Ante una alarma (independiente del tipo de alarma y de la urgencia de esta), si la comunicación falla, se procederá a ejecutar un reintento, si el reintento también falla, el suceso debe almacenarse en la memoria no volátil. A partir de este momento el AVL examinará periódicamente la disponibilidad de la comunicación con la plataforma tecnológica. Cuando disponga de la capacidad para comunicarse, nuevamente se intentará transmitir todos los sucesos almacenados en la memoria no volátil, y si tiene éxito, se eliminarán de ella. Adicionalmente, se transmitirá en último lugar una alarma de reconexión a la red de comunicaciones tipo 3.

Alarma de ausencia de fuente externa. Durante el tiempo de desconexión de la fuente externa se emitirán, en intervalos periódicos, alertas sobre la ausencia de batería externa, las cuales irán incrementando el grado de urgencia a medida que el tiempo de desconexión se prolongue. Dependiendo del nivel de carga de la batería interna se deberán generar las siguientes alarmas:

Alarma de ausencia de fuente externa-Tipo 3. Esta alarma se enviará cuando el porcentaje de descarga esté entre el 0 % y el 50 %.

Alarma de ausencia de fuente externa-Tipo 2. Esta alarma se enviará cuando el porcentaje de descarga esté entre el 50 % y el 80 %.

Alarma de ausencia de fuente externa-tipo 1. Esta alarma se enviará cuando el porcentaje de descarga esté entre el 80 % y el límite de descarga.

Alarma error en lectura de VIN-Tipo 1. Ante el suceso de que el VIN no concuerde con el esperado, se deberá emitir una alarma tipo 1, siempre que sea posible establecer la comunicación. Si no es posible, deberá almacenar la alarma en la memoria no volátil.

Alarma de incapacidad de obtener la posición geográfica-Tipo 1. Cuando la unidad de localización sea incapaz de obtener la posición geográfica por un intervalo de tiempo significativo, el dispositivo deberá generar una alarma tipo 1 y transmitirla cuando sea posible. De no ser posible establecer una comunicación, debe almacenar el suceso en la memoria no volátil.

Continúa...

29	Se recomienda deshabilitar por <i>software</i> los puertos físicos no utilizados en el AVL.
30	Las interfaces inalámbricas disponibles no utilizadas por el <i>hardware</i> del dispositivo (Wifi, Bluetooth, ZigBee, etc) deberían estar deshabilitadas por <i>software</i> . Solo en el caso en el que el servicio de transporte prestado por el vehículo que porta el AVL lo requiera, se podría usar la interfaz Bluetooth para el intercambio de información relacionada con la prestación del servicio, con un dispositivo externo de tipo <i>handheld</i> .
31	Los servicios de acceso remoto deben estar deshabilitados también. De existir la posibilidad de que el dispositivo albergue procesos o servicios de acceso remoto, debe haber una rutina que deshabilite dichos servicios y además garantice que estos jamás serán ejecutados.
32	Las comunicaciones entre los AVL y la plataforma tecnológica deben ser seguras.
33	Debe existir un módulo de autenticación y actualización del <i>software</i> del AVL desde la plataforma tecnológica. El <i>software</i> del AVL debe contar con un mecanismo de autenticación con la plataforma tecnológica que garantice la autenticidad de la información. De igual manera, la plataforma tecnológica debe controlar las actualizaciones de <i>software</i> realizadas a los dispositivos AVL. Por tanto, los dispositivos AVL deben comprobar una vez al día si existen actualizaciones disponibles.
34	En el caso en el que el servicio de transporte lo amerite, el <i>software</i> del AVL debe contar con unas rutinas para el intercambio de información con dispositivos externos de tipo <i>handheld</i> que autenticuen y limiten las operaciones realizadas a la obtención y suministro de datos relacionados con la prestación del servicio:
	Emparejamiento de los dispositivos. Se debe realizar un proceso de emparejamiento previo al intercambio de información, mediante el uso de un código PIN generado desde el dispositivo AVL.
	Inicio de sesión. El <i>software</i> del dispositivo externo suministrará durante el inicio de sesión un código de autorización para el intercambio de información. Dicho código será suministrado por la plataforma tecnológica.
	Cierre de sesión.
	Lectura de información.
	Escritura de información.

VI. CONCLUSIONES

En este artículo se presentó un análisis de los medios de transporte público terrestre en Colombia que hacen uso de sistemas de rastreo vehicular (AVL). Se identificaron necesidades de estos dispositivos AVL que operan en dichos sistemas y se evidenció que existen vulnerabilidades en el *hardware* y el *software* que afectan el correcto funcionamiento de los servicios que prestan.

El análisis de los dispositivos AVL se realizó con base en la metodología en V para el desarrollo de sistemas, al identificar el funcionamiento actual, las necesidades y las vulnerabilidades durante su operación. A partir de estas necesidades se dedujo una serie de recomendaciones a modo de requisitos para el funcionamiento seguro de los AVL en el transporte público en Colombia.

Entre las necesidades más importantes encontradas se encuentran la detección de intrusiones al *hardware* de los dispositivos de rastreo y la creación de una serie de alarmas para la advertencia de dichas intrusiones. La detección requiere del uso de sensores y *software* incorporados en los AVL que permitan conocer el tipo alteración y la forma en que podría afectar el servicio. Por su parte, las alarmas se requieren para evidenciar la posible alteración del servicio ante los operadores y las entidades del Estado interesadas.

A fin de atender parte de las necesidades encontradas, se propuso una arquitectura de AVL que incorpora una unidad de detección de la integridad. El objetivo de esta unidad es atender los posibles eventos generados por los sensores de detección y su *software* dedicado, priorizarlos y notificarlos a un servidor o servidores remotos.

Por otra parte, se encontró necesario implementar un mecanismo automático para la identificación única vehicular. Se requiere crear un identificador único (AVL-ID) compuesto por los números de identificación vehicular (VIN) — de los que disponen los vehículos a través del estándar del bus de datos del vehículo —, el número serial del microprocesador del AVL, los caracteres de la placa del vehículo y un número de proveedor del dispositivo de rastreo.

En síntesis, se encontró que es necesario reforzar las medidas de seguridad desde el *hardware* y el *software* de los sistemas AVL que operan en el sistema de transporte público colombiano, con el fin de garantizar su pleno funcionamiento y, por consiguiente, el buen servicio de la flota de vehículos a los usuarios. Se presentaron unas recomendaciones técnicas de *software* y *hardware* para los dispositivos AVL que operan en el transporte público en Colombia.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, Fondo Francisco José de Caldas-Colciencias, mediante el proyecto de investigación “Diseño y evaluación de un dispositivo de rastreo vehicular integrado al Registro Único Nacional de Tránsito (Runt). 2016”.

REFERENCIAS

- [1] P. Smietanka, K. Szczypiorski, F. Viti y S. Marcin, "Distributed automated vehicle location (AVL) system based on connected vehicle technology," en 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Las Palmas, 2015, pp. 1946-1951. [En línea]. doi: 10.1109/ITSC.2015.315
- [2] G. Mintsis, S. Basbas, P. Papaioannou, C. Taxiltaris e I.N. Tziavos, "Applications of GPS technology in the land transportation system", *European Journal of Operational Research*, vol. 152, n.º 2, 2004, pp. 399-409, 2004. [En línea]. doi: 10.1016/S0377-2217(03)00032-8
- [3] N. Hounsell y B. Shrestha, "A new approach for co-operative bus priority at traffic signals," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 13, n.º 1, pp. 6-14, mar. 2012. [En línea]. doi: 10.1109/TITS.2011.2172869
- [4] 3GPP Initiative. 3GPP TS 23.060 v 5.2.0, "General packet radio service (GPRS); service description; stage 2 (release 5)", jun. 2002.
- [5] E.D. Kaplan y C. Hegarty, *Understanding GPS Principles and Applications*. 2ª ed., Boston: Artech House, 2005.
- [6] Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing Information, "Analytical centre of GLONASS and GPS controlling". sep. 5 2017 . [En línea]. Disponible en: <https://www.glonass-iac.ru/en/>
- [7] European GNSS Agency, "Galileo is the European global satellite-based navigation system", sep. 5 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.gsa.europa.eu/galileo/why-galileo>.
- [8] International Organization for Standardization, *ISO 11898-1:2015-Road vehicles-Controller area network (CAN)-Part 1: Data link layer and physical signalling*, 2016.
- [9] International Organization for Standardization, *ISO/DIS 17987-6.2-Road vehicles-Local Interconnect Network (LIN)-Part 6: Protocol conformance test specification*, 2016.
- [10] International Organization for Standardization, *ISO 15765-2:2016-Road vehicles-Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) Part 2: Transport protocol and network layer services*, 2016.
- [11] P. Furth, B. Hemily, T. Muller y J. Strathman, *Uses of archived AVL-APC data to improve transit performance and management: review and potential*. Washington, D. C., EE. UU.: Transportation Research Board, 2003.
- [12] C. Diakaki, V. Dinopoulou, I. Papamichail y M. Papageorgiou, "Public transport priority in real time: a state-of-the-art and practice review". Pricilla

- Project, deliverables 2, Southampton, R. U., oc. 2013.
- [13] B. Barabino, M. Di Francesco y S. Mozzoni, "Regularity diagnosis by automatic vehicle location raw data," *Pub. Transp.*, vol. 4, n.º 3, pp. 187-208, mar. 2013. [En línea]. doi: 10.1007/s12469-012-0059-z
 - [14] E. Mazloumi, G. Currie y G. Rose, "Using GPS data to gain insight into public transport travel time variability," *J. Transp. Eng.*, vol. 136, n.º 7, pp. 623-631, jul. 2010. [En línea]. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000126
 - [15] N. Hounsell, B. Shrestha y A. Wong, "Data management and applications in a world-leading bus fleet," *Transp. Res. Part C, Emerging Technol.*, vol. 22, pp. 76-87, jun. 2012. [En línea]. doi: 10.1016/j.trc.2011.12.005
 - [16] Transmilenio S. A. *Resolución 472 de 2006. Por la cual se modifica la Resolución 199 del 7 de Diciembre de 2004 con el fin de actualizar el Manual de Procedimientos de la Empresa de Transporte del Tercer Milenio-Transmilenio S. A*, 2006.
 - [17] Transcaribe S. A. *Licitación pública TC-LPN-004*", Artículo 21 Decreto 1510 de 2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.transcaribe.gov.co/> 2013.
 - [18] Sistema Integrado de Transporte Masivo del Área Metropolitana de Bucaramanga. *Pliego de Condiciones. Concesión del Sistema de Recaudo y Control*, Licitación Pública M-LP-002-2007, 2007.
 - [19] Advantech-dlog, "Box PC and remote display for fleet management TREK-550/303H", 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.advantech-dlog.com>.
 - [20] F. Reclus y K. Drouard, "Geofencing for fleet & freight management", en *2009 9th Int. Conf. on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST)*, Lille, 2009, pp. 353-356. [En línea]. doi: 10.1109/ITST.2009.5399328
 - [21] Contraloría de Bogotá. *Reporte: alerta por fallas en el sistema de comunicaciones que controla y regula los buses del sistema transmilenio*. [En línea]. Disponible en: <http://www.contraloriabogota.gov.co>, 2008.
 - [22] Ministerio de Transporte de Colombia. *Decreto 1079 de 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte*, pp. 43-51, 2015.
 - [23] H. A. Karimi y J. T. Lockhart, "GPS-based tracking systems for taxi cab fleet operations," en *Vehicle Navigation and Information Systems Conf., Proceedings of the IEEE-IEE*, Ottawa, Ontario, Canada, 1993, pp. 679-682. doi: 10.1109/VNIS.1993.585719
 - [24] M. D. Hamlen, "Fleet management with automatic vehicle location", en *36th IEEE Vehicular Technology Conference*, 1986, pp. 374-380. [En línea]. doi: 10.1109/VTC.1986.1623461
 - [25] M. Hickman. "Bus automatic vehicle location (AVL) systems", en *Assessing the Benefits and Costs of ITS: Making the Business Case for ITS Investments*,

Boston, MA: Springer US, 2004, pp. 59-88. [En línea]. doi:10.1007/1-4020-7874-9_5

- [26] Ministerio de Transporte de Colombia. *Decreto 348 de 2015, por el cual se reglamenta el servicio público de transporte terrestre automotor especial y se adoptan otras disposiciones*, 2015.
- [27] International Organization for Standardization, *ISO 3779:2009 Road vehicles- Vehicle identification number (VIN)-Content and structure*, 2009.