

PLATAFORMA BASADA EN RFID PARA MONITOREO DE TRÁFICO VEHICULAR

Karen Natalia Figueroa Niño, Universidad Nacional de Colombia knfigueroan@unal.edu.co

César Pedraza Bonilla, Universidad Nacional de Colombia capedrazab@unal.edu.co

Félix Vega Stavro, Universidad Nacional de Colombia, jfvegas@unal.edu.co

William Castro García, Universidad Nacional de Colombia, wcastrog@unal.edu.co

RESUMEN

Actualmente uno de los problemas más importantes que enfrentan las ciudades es el monitoreo y control de flujo vehicular. Existen técnicas de monitoreo basados en diferentes tecnologías, tales como el análisis de imágenes, detectores magnéticos, sistemas de posicionamiento global, entre otros. La tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), hace parte de una alternativa para sistemas de control de sistemas en movimiento.

El presente artículo contiene la representación sintética y objetiva del diseño y aplicación de una plataforma basada en la tecnología RFID, que se valida mediante un experimento en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, demostrando coherencia de las tecnologías y requerimientos propuestos.

Palabras claves: RFID, sistemas inteligentes de transporte, monitoreo de tráfico vehicular.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente uno de los problemas más importantes que enfrentan las ciudades alrededor del mundo es el monitoreo y control de flujo vehicular. El monitoreo inteligente hace parte de una estrategia para mejorar el flujo vehicular, a partir de la adquisición de información relevante para ser procesada, almacenada y tomar decisiones en tiempo real. Sin embargo, uno de los grandes retos para los sistemas de monitoreo inteligente es definir las condiciones y requerimientos para la integración de tecnologías para el monitoreo de tráfico de vehículos en una ciudad, así como el reconocimiento de las particularidades de la ciudad en la que vaya a operar.

Existen técnicas de monitoreo basados en diferentes tecnologías, tales como análisis de imágenes, detectores magnéticos, detectores de infrarrojo, sistemas de posicionamiento global, beacons entre otros. La tecnología de identificación por radiofrecuencia, hace parte de una alternativa interesante para sistemas de control de inventarios y logística de sistemas en movimiento.

Mediante el uso de un tag RFID en un vehículo, es posible registrar su paso por sitios donde se encuentren instalados lectores de la misma tecnología. Este esquema de monitoreo presenta una alternativa más precisa que otros sistemas, dado que el vehículo es censado en un sitio donde se tiene interés detectar su presencia mediante el uso de lectores RFID. Por otra parte, la tecnología RFID ha alcanzado un grado de madurez tal, que es posible encontrar diferentes estándares, alternativas tecnológicas y económicas, que viabilizan la implementación de sistemas como el de monitoreo de tráfico vehicular. De esta forma, es claro que los sistemas RFID son una buena opción para tener en cuenta en diseño de sistemas de monitoreo vehicular inteligente.

A pesar de ser empleado en múltiples aplicaciones, la tecnología RFID no ha sido aplicada de forma masiva en sistemas de monitoreo de tráfico vehicular. Lo anterior evidencia un problema, dado que es necesario determinar los requisitos para hacer monitoreo para control de tráfico mediante la integración de tecnologías como la RFID.

El presente artículo describe el trabajo realizado en el proyecto de control inteligente vehicular desarrollado en la Universidad Nacional de Colombia, como parte de un esfuerzo por mejorar los sistemas de monitoreo para control de tráfico mediante la integración de las tecnologías RFID, que pretende dar solución al problema de la identificación de requerimientos para este tipo de aplicación de la tecnología RFID. La sección dos muestra las principales aplicaciones de los sistemas RFID, así como su uso en temas relacionados con transporte. A continuación se presenta la plataforma propuesta para su uso en monitoreo de tráfico, así como la forma en que fue implementada. Posteriormente se presentan las condiciones experimentales bajo las que se validó la plataforma y los resultados obtenidos. Finalmente se enumeran las principales conclusiones del trabajo.

2 ESTADO DEL ARTE.

En los últimos años, se ha experimentado con diversas tecnologías para el monitoreo y recolección de datos de tráfico vehicular en las ciudades, incluyendo la identificación por radio frecuencia (RFID), procesamiento de imágenes, detectores magnéticos, detectores infrarrojos, sistemas de posicionamiento global (GPS), *beacons*, entre otros (Kim, 2008). Algunos trabajos proponen frameworks para el diseño e implementación de sistemas aplicados a monitoreo de tráfico mediante el uso de estas tecnologías, sin embargo, el desarrollo de plataformas basadas en tecnología RFID para monitoreo de tráfico ha sido limitado.

Chattara (Chattaraj, 2009) presenta en su trabajo, la posibilidad de monitorear tráfico mediante esta tecnología, proponiendo el monitoreo en las intersecciones viales. Sin embargo, no profundiza en la definición de las condiciones funcionales y tecnológicas para llevar a cabo dicho sistema.

Kim (Kim, 2008) presenta un estudio acerca de los requerimientos de red para la aplicación de la tecnología RFID al monitoreo de tráfico. Especifica claramente los requisitos de red y realiza algunas recomendaciones a cerca de la tecnología RFID a usar, presentando los sistemas de 2.45GHz como los más apropiados para este tipo de aplicación. De igual forma, define tres partes fundamentales para un sistema de este tipo: los sistemas de hardware (lectores, tags), una interfaz de software para la recolección y almacenamiento de la información, y la implementación de aplicaciones para la toma de decisiones, de forma similar a como lo define Fosso (Fosso, 2013).

El presente trabajo muestra una plataforma que se diseñó para el monitoreo de tráfico vehicular, y que se valida mediante un experimento en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, demostrando coherencia de las tecnologías y requerimientos propuestos.

El RFID (Radio Frequency IDentification) es una tecnología basada en la identificación automática e inalámbrica que permite detectar objetos mediante ondas de radio. Este sistema se compone de un lector (Reader) y una etiqueta (Tag). El lector emite una serie de ondas de

radiofrecuencia al Tag, el cual recibe las ondas mediante una antena y las retransmite al lector con los datos en él almacenados. Luego, el lector transforma las ondas de radio del Tag en un formato que pueda ser transmitido al sistema de cómputo o aplicación que va a utilizar y analizar la información.

3 PLATAFORMA PROPUESTA.

Para el desarrollo de este proyecto se diseñó una plataforma de control inteligente de vehículos la cual presenta una arquitectura modular y escalable sobre la que pueden implementarse diversos servicios y aplicaciones tecnológicas enfocadas a la solución de problemas de transporte en Colombia.

La arquitectura del sistema (Figura 1) está compuesta por:

- Una etiqueta RFID instalada en vehículos automotores y lectores RFID fijos o móviles en intersecciones y calles principales
- Diseño de un sistema de información auto-escalable y flexible basado en PaaS (Platform as a Service ~Cloud Computing).
- Desarrollo de aplicaciones prototipo de acuerdo a la necesidad de cada estudio de tránsito realizado.

Figura 1 Arquitectura del sistema de detección de vehículos



Fuente: Proyecto Plataforma de Control Inteligente de Vehículos – Universidad Nacional de Colombia.

La plataforma fue desarrollada en tres etapas. Una etapa de definición del concepto de operaciones y requisitos del sistema, donde se establecieron las características funcionales del sistema. En la segunda etapa se desarrolló el sistema de hardware y software (sistema lector y servidor remoto), donde se escogieron tecnologías apropiadas para el sistema. En esta etapa, se escogió al estándar ISO 18000-6C como tecnología RFID, así como el hardware-software y protocolos apropiados para enviar la información de forma remota a un servidor del proyecto. De

igual forma, se definieron las características del software, elaborado en la nube, para el despliegue de la información. Finalmente, en una tercera etapa, se realizó el experimento a fin de validar la plataforma diseñada. Para esto se escogió el campus de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, con una extensión de 116 hectáreas y un tráfico de 5.000 vehículos motorizados y 2.000 vehículos no motorizados (Universidad Nacional de Colombia, 2014). Esta última etapa es ampliada en la sección cuatro del artículo.

3.1 Definición de los requisitos del sistema.

En la primera etapa del proyecto se definieron las condiciones para el uso de la tecnología RFID en sistemas inteligentes de transporte, especialmente al monitoreo de tráfico vehicular. Para el desarrollo de la plataforma, se identificaron las siguientes condiciones:

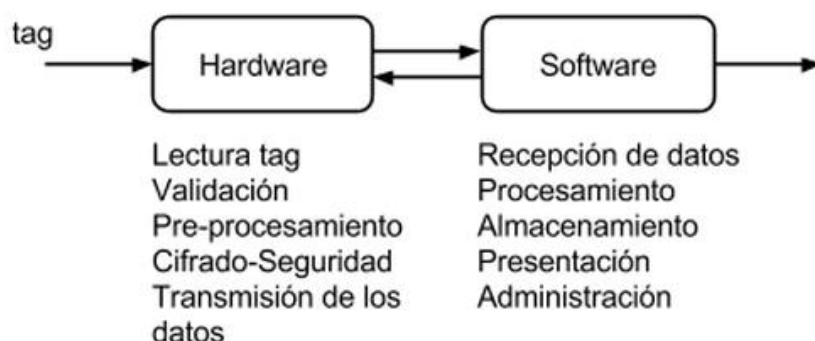
- Identificación de vehículos en distintos puntos de una ciudad mediante el uso de lectores RFID compatibles con ISO 18000-6C. Se debe leer un identificador de tag RFID.
- Soporte para compartir datos. Es recomendable que los datos que se toman sean almacenados en una plataforma en la nube, debido a que es más fácil su manipulación procesamiento y seguridad.
- Población de vehículos significativa con tag RFID instalados en los vehículos que permita determinar el volumen de tráfico vehicular en un segmento de vía determinado.
- Filtrado de etiquetas. Debido a que la tecnología RFID de tag pasivos es ampliamente utilizada para otras aplicaciones, es importante establecer un mecanismo de identificación almacenado en la etiqueta, para validar que la misma pertenece al sistema.
- Escritura y lectura de etiquetas. La plataforma debe soportar la escritura de etiquetas a fin de caracterizarlas como parte del sistema.
- Lectura disparada por eventos. Es necesario contar con la posibilidad de deshabilitar de forma remota una lectura. Así mismo es necesario poder realizar lecturas durante espacios de tiempo determinados.
- Interpretación de datos. Los datos enviados a la nube deben estar asociados a un tipo de lectura, hora, fecha, localización geográfica, etc. Esta información asociada a una lectura permite realizar un procesamiento posterior más eficiente.
- Escalabilidad. El sistema de la nube debe ser muy escalable, a fin de permitir la incorporación de más espacios de detección de tráfico mediante el uso de más lectores RFID.
- Extensibilidad. El proyecto debe contar con la posibilidad de más lecturas en más carriles en una vía.
- Confiabilidad. El sistema de lectura debe ser: estable, con capacidad de procesamiento para lecturas, cálculos de cifrado, reinicio automático, etc. Los sistemas de comunicaciones deben ser estables, con capacidad de iniciarse cuando haya pérdidas de red.
- Configurabilidad en tiempo de ejecución. Se debe contar con un sistema de configuración, manipulable remotamente. Se debe poder cambiar parámetros como antenas de lectura, tiempo de reenvío de una etiqueta, etc.
- Manejo de distintos tipos de datos. Se maneja información de: etiquetas, horas, estado del lector, tiempo en uso, última lectura, tasa de lecturas, etc.

A partir de los requisitos anteriores fue posible determinar las características de hardware y software de la plataforma. A continuación se describen los elementos que la componen:

3.2 Sistema de hardware y software.

La plataforma para control inteligente vehicular se encuentra compuesta por distintos elementos de hardware y software, que puestos en funcionamiento cumplen con los requisitos expuestos en la sección anterior.

Figura 2. Funciones de los sistemas de hardware y software



Sistema de software

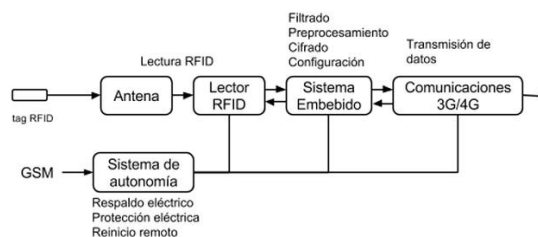
Como se observa en la Figura 2 las tareas realizadas por este componente empiezan con la recepción de datos del sistema de hardware y acaba con los datos presentados a los usuarios. Como se estableció en los requisitos del sistema, esta etapa debe ser llevada a cabo mediante el uso de la computación en la nube.

- Recepción de datos. Para la ejecución de esta tarea se estableció que las comunicaciones se debía realizar mediante la tecnología de servicios web, con protocolo seguro de transferencia de hipertexto y proceso de firmado para garantizar la autenticidad de una lectura RFID.
- Procesamiento y almacenamiento. Todas las lecturas recibidas en el servicio en la nube fueron almacenadas y puestas a disposición de un sistema de análisis de datos.
- Presentación. Se implementó una interfaz de presentación que permite visualizar, filtrar en forma de tablas o gráficas la información almacenada de lectura de tags RFID.
- Administración. Las tareas de administración permiten al sistema configurar claves de cifrado para comunicaciones, números de identificación y habilitación de unidades de lectura RFID, entre otros.

Sistema de hardware.

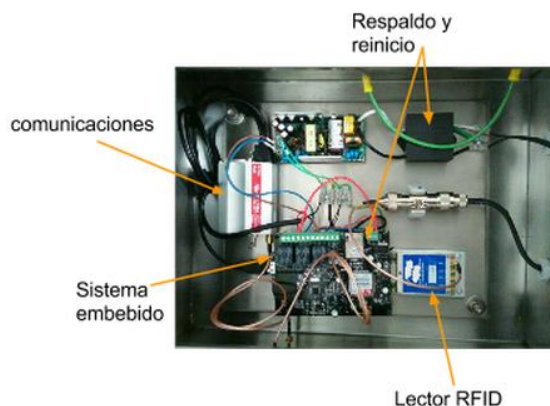
El sistema de hardware consiste en los elementos que se encuentran puestos en el lugar físico donde se desean realizar las lecturas RFID. Por lo tanto, éste debe realizar las tareas directamente relacionadas con la lectura de tag RFID, validación, pre procesamiento, cifrado y transmisión de los datos al sistema de software.

Figura 3. Diagrama de bloques del sistema de hardware.



La Figura 3 muestra las partes que componen el sistema de hardware y las tareas básicas que realizan. En primer lugar, el tag RFID y la unidad de lectura RFID (antena y lector RFID) permiten la identificación del vehículo mediante la lectura de un campo de memoria programable del tag. Este campo fue programado previamente con un número único para cada usuario y un encabezado de identificación del proyecto. La información obtenida desde la unidad de lectura es transferida hacia un sistema embebido que permite determinar si el tag leído pertenece al proyecto. A continuación, el sistema elabora una trama de datos junto con el identificador, fecha de lectura, número de lector, posición geográfica del lector, entre otros. Esta trama es cifrada y enviada al módulo de comunicaciones para que la envíe al servidor remoto que se encuentra en la nube. La Figura 4 muestra la forma en que las partes más importantes del sistema de hardware fueron montadas en una caja con protección IP66 a fin de ser instalado sobre las vías del campus de la universidad.

Figura 4. Montaje realizado del sistema de hardware



4 EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

La prueba piloto en la Universidad Nacional, se planteó con la finalidad de establecer la viabilidad del uso de sistemas RFID para el monitoreo de tráfico vehicular y evaluar el rendimiento de la plataforma. Para tal fin, se monitorizó la estabilidad del hardware y el software desarrollados y se identificaron otros requerimientos que hubiesen podido escapar a la etapa de diseño y que pudieran realizarse durante o después del mostrador, para lograr los participantes voluntarios en el proyecto se establece una campana de socialización del proyecto de investigación.

4.1 Definición de la prueba

La determinación de los volúmenes vehiculares forma parte de la información básica para el estudio y análisis de las condiciones del tránsito en corredores viales urbanos. Por esta razón su cuantificación constituye una de las principales medidas en cualquier estudio de tránsito y transporte.

Así mismo, el estudio de origen y destino sirve para obtener datos del número y tipo de viajes en un área, incluyendo movimientos de vehículos y pasajeros o carga, de varias zonas de origen a varias zonas de destino. El origen del viaje corresponde a la estación donde se registra un vehículo por primera vez y el destino es el lugar donde se le vio por última vez. En este estudio se recomienda que, de modo paralelo, se realicen conteos vehiculares para realizar el ajuste a la muestra que finalmente se logre obtener.

Por otro lado, en el desarrollo de los estudios de estacionamiento, el mayor problema que se presenta es determinar cuántos espacios de parqueo se requieren en cualquier tipo de proyecto y, sobre todo, identificar dónde deben localizarse los espacios. Para esto, se determina el tiempo de permanencia de los vehículos en un espacio cerrado, mediante la diferencia entre la hora de entrada y salida y se identifica la ocupación del estacionamiento a lo largo de un periodo horario.

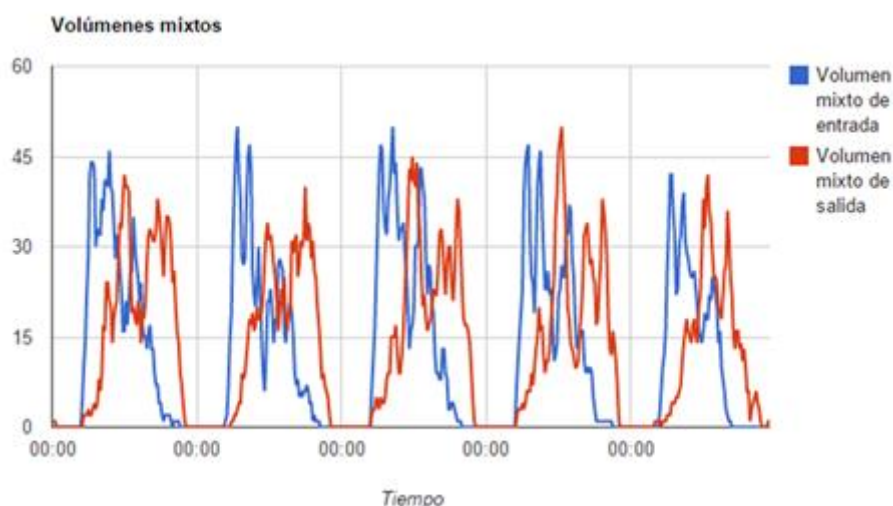
Para el caso específico de la aplicación de la tecnología, en la prueba piloto en la Universidad Nacional, se instalaron seis (6) lectores RFID en las tres porterías de entradas y salidas vehiculares tal y como se muestra en la Figura 5.

4.2 RESULTADOS

Durante el experimento se desarrollaron plataformas de consulta basadas en sistemas de plataforma como servicio (Platform as a Service - PaaS) para obtener información de volúmenes vehiculares, estacionamientos y lugares de preferencia de entrada y salida de la Universidad (mediante una Matriz Origen destino), esta información puede consultarse durante todo el periodo de prueba en horarios y días de escogencia del usuario mediante un aplicativo que procesa la información recogida en la nube.

A continuación se presentan resultados obtenidos en la prueba piloto, que permiten evidenciar patrones de comportamiento a nivel global de la universidad a través de la información recopilada de los Tag's instalados a los usuarios voluntarios que hicieron parte del ensayo, teniendo en cuenta que los números allí reflejados hacen referencia exclusivamente a esta población.

Figura 6 Volúmenes Vehiculares, Prueba Piloto Universidad Nacional



Fuente: Proyecto Plataforma de Control Inteligente de Vehículos – Universidad Nacional de Colombia.

La Figura 6 ilustra la representación gráfica del patrón de comportamiento horario de entradas y salidas al campus Universitario, para un periodo de consulta entre el 6 de Octubre a las 00:00 horas y el 11 de Octubre a las 00:00 horas, lo que permite ver el comportamiento de una semana típica en el campus. Además, esta figura presenta la interfaz del software diseñado para las salidas de información.

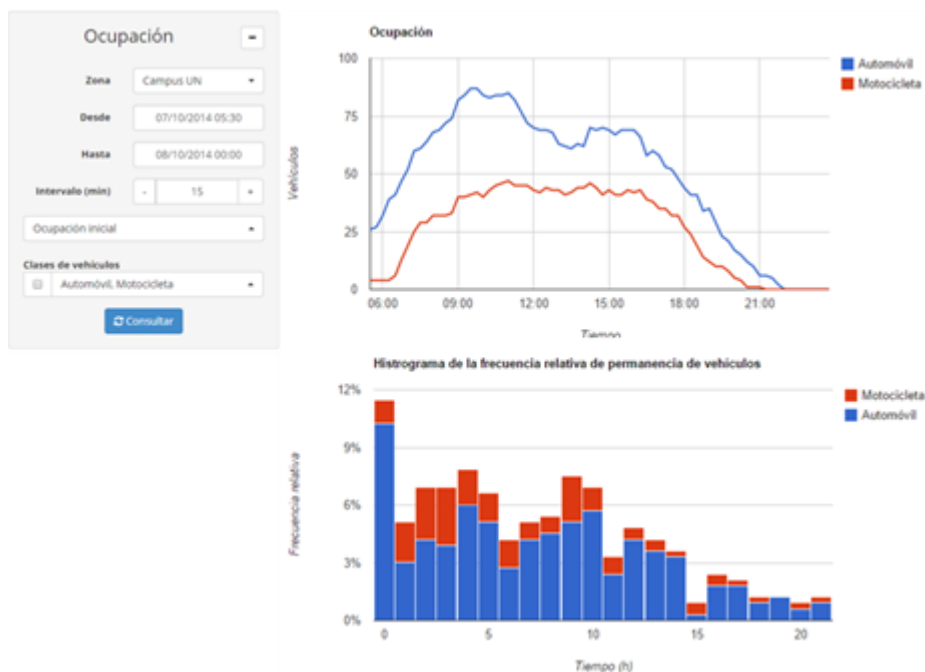
Figura 7 Matriz Origen – Destino, Prueba Piloto Universidad Nacional

	[1] Salida Capilla	[2] Salida Carrera 45	[3] Salida Calle 53	Total general
[1] Entrada Capilla	15	8	17	40
[2] Entrada Carrera 45	37	71	38	146
[3] Entrada Calle 53	7	20	38	65
Total general	59	99	93	251

Fuente: Proyecto Plataforma de Control Inteligente de Vehículos – Universidad Nacional de Colombia.

La Figura 7 presenta los resultados obtenidos en un día de consulta (09 a 10 de Octubre de 2014) de las tres porterías en donde fueron instalados los lectores, esto permite identificar el lugar de entrada, salida y en general más utilizado por los usuarios de la prueba.

Figura 8 Permanencia en estacionamiento, Prueba Piloto Universidad Nacional



Fuente: Proyecto Plataforma de Control Inteligente de Vehículos – Universidad Nacional de Colombia.

La Figura 8 ilustra la ocupación durante un día del campus universitario para automóviles y motocicletas que poseían el Tag, esto para un periodo en entre el 07 y 08 de Octubre de 2014; así mismo permite identificar la duración promedio de los vehículos por horas dentro de la Universidad.

En comparación con el estudio de tránsito realizado para la elaboración del Plan de Movilidad del Campus de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, realizado en el año 2013, y la prueba piloto realizada con la tecnología RFID, se obtuvo que:

- Las horas pico de entradas obtenidas se encuentran dentro de los mismos periodos; estos horarios son entre las 6:30 y las 10:00 en la mañana y entre las 13:00 y 14:00 en la tarde;

esto relacionado con las horas de inicio de actividades en el campus (en la mañana) y la hora de almuerzo (en la tarde).

- En cuanto a las salidas, en los dos estudios, se evidencia que el primer pico se presenta en las horas de la mañana entre las 9:00 y las 10:00, el segundo pico y el más relevante del día se presenta entre las 12:00 y las 13:00 horas debido a la hora de almuerzo y finalmente entre las 18:30 y 19:30 debido a la finalización de la jornada.
- De igual forma, los dos estudios revelan que el acceso, al ingreso, más utilizado por los usuarios del campus es la entrada de la carrera 45 o Uriel Gutiérrez, seguido por la calle 53 y por último la capilla; este mismo comportamiento se presenta en la preferencia de acceso a la salida de la Universidad.
- En la duración de los vehículos dentro del campus, ambos estudios coinciden que la mayoría de la población permanece dentro del campus entre 6 y 12 horas, seguidos por un periodo entre 1 y 3 horas.
- Haciendo referencia a la ocupación el periodo pico se encuentra entre las 11:00 y 12:00 del mediodía, presentando en este periodo el mayor número de vehículos dentro del campus.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Se diseñó y se probó una plataforma para el monitoreo de tráfico vehicular mediante el uso de la tecnología RFID pasiva ISO 18000-6C. Se observó que un sistema basado en esta tecnología es viable para su uso en ciudades, dado que representa una alternativa más económica que las de uso con sistemas de geolocalización, sensores sobre las vías con obras civiles sobre la infraestructura vial, entre otros. La masificación del uso de esta tecnología en el monitoreo de tráfico vehicular, puede estar sujeto a la aplicación de la tecnología ISO 18000-6C a otros medios, tales como recaudo electrónico vehicular, control de parqueaderos, entre otros. El uso de esta tecnología en otras aplicaciones puede impulsar el monitoreo de tráfico vehicular mediante RFID en las grandes ciudades.

En Colombia las mediciones de parámetros de tránsito y transporte se realizan mediante una metodología clásica manual que tiene limitaciones de completitud de datos, confiabilidad y oportunidad las cuales pueden ser mitigadas a través del uso de los SIT (Sistemas Inteligentes de Transporte). Por tal razón las mediciones en tránsito y transporte requieren la masificación del uso de tecnologías como la RFID para la obtención de información continua y confiable en el tiempo, lo cual conlleva a una relación positiva costo-beneficio a mediano y largo plazo.

Para una planeación sustentada del tránsito y transporte se hace imperativo la obtención de información oportuna y de calidad que se convierta en una herramienta para la toma de decisiones. De igual forma, las tecnologías se hacen inherentes en los sistemas de tránsito y transporte de la actualidad en un abanico amplio de posibilidades desde la programación de un semáforo hasta el control de operación de flota de un sistema masivo de transporte público de pasajeros.

Se hace axiomático el hecho de que el tránsito y transporte es un campo multidisciplinario, sin embargo en Colombia la exploración y aplicación del apoyo de herramientas electrónicas y tecnológicas no ha sido de la misma trascendencia que el apoyo de áreas como la ingeniería civil, la economía, la ingeniería industrial, la ingeniería ambiental y el derecho, entre otras.

En cuanto a la aplicación de la tecnología RFID en estudios de tránsito y transporte la prueba piloto permite identificarla como una alternativa viable, confiable, oportuna y completa para la realización de este tipo de estudios. Sin embargo, es importante resaltar que para usar la tecnología RFID en un área delimitada o específica se hace necesario que todos los vehículos posean la etiqueta (Tag) para que los resultados absolutos del estudio de puedan tener influencia directa en la toma de decisiones o en la planeación.

En el caso de la prueba piloto de la Universidad Nacional se hizo una muestra que determinaba el número de los tag necesarios por estacionamiento en el campus, debido a la estrategia social que permitía en primera instancia observar la reacción de los usuarios a usar el sistema, la cual cabe mencionar fue muy positiva, pero esta muestra solo permite tener resultados que observan parámetros de comportamiento y no los volúmenes representativos del Universo de la población.

Por último, la tecnología RFID, permite realizar estudios continuos todos los días de la semana dando lugar al análisis del comportamiento de lunes a domingo en el campus de la Universidad, procedimiento que no es posible realizar con un estudio de toma manual como el que se realizó en 2013, pues este ensayo solo se realizó en un día típico (jueves) a causa de los costos que una toma de información de este tipo requiere. (Ramírez, 2012)

REFERENCIAS

- Ramirez, J. (2012). Radio frequency identification (RFID) technology for academic, logistics and passenger transport applications. *Ingeniería e Investigación*, 58-65.
- Universidad Nacional de Colombia. (2014). PLAN INTEGRAL DE MOVILIDAD PARA EL CAMPUS DE LA SEDE BOGOTÁ-UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Bogotá D.C.
- Universidad Nacional de Colombia. (2014). Plataforma de Control Inteligente de Vehículos. Bogotá D.C.
- Kim, M. (2008)., Park, J., Oh, J., Chong, H., & Kim, Y. Study on Network Architecture for Traffic Information Collection Systems Based on RFID Technology. *IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference*.
- Chattaraj, a. (2009), Bansal, S., & Chandra, a.. An intelligent traffic control system using RFID. *IEEE Potentials*, 28, 0–3.
- Fosso Wamba, S. (2013)., Anand, A., & Carter, L. A literature review of RFID-enabled healthcare applications and issues. *International Journal of Information Management*, 33(5), 875–891.