

Design and Benchmarking of an Intelligent RFID Reader for Vehicular Traffic Monitoring

Diseño y Evaluación Comparativa de un Lector RFID Inteligente para Monitoreo de Tráfico Vehicular

Oscar Urbano
EMC-UN group, Electrical
Engineering Department
Universidad Nacional de
Colombia, Bogotá
ourbanov@unal.edu.co

Daniel Silva
EMC-UN group, Electrical
Engineering Department
Universidad Nacional de
Colombia, Bogotá
dasilvap@unal.edu.co

Felix Vega
EMC-UN group, Electrical
Engineering Department
Universidad Nacional de
Colombia, Bogotá
jfvegas@unal.edu.co

Cesar Pedraza
EMC-UN group, Systems and
Industrial Engineering
Department
Universidad Nacional de
Colombia, Bogotá
capedrazab@unal.edu.co

ABSTRACT

This document presents the design, assessment, and benchmarking of a RFID reader system applied to vehicular traffic monitoring, which was developed as a part of an Intelligent Transportation System implemented in Chía, located in Cundinamarca, Colombia. The developed device is based on the Internet of things paradigm and is the technological base of several projects related with IoT and Wireless Sensor Networks. Additionally, the developed system is assessed according to a series of operational requirements and is benchmarked with other popular commercial solutions in this field. The developed device is the best and cheapest option in the comparison set.

RESUMEN

Este documento presenta el diseño, evaluación y comparación de un sistema de lectura RFID aplicado al monitoreo de tráfico vehicular, el cual se desarrolló como parte de un Sistema Inteligente de Transporte implementado en el municipio de Chía, ubicado en Cundinamarca, Colombia. El dispositivo desarrollado se basa en el paradigma del Internet de las Cosas y es la base tecnológica de varios proyectos derivados, todos relacionados con IoT y redes de sensores inalámbricos. Adicionalmente, el sistema elaborado es evaluado con base en una serie de requisitos operacionales y es comparado con otras soluciones comerciales populares en esta área. El dispositivo desarrollado es la mejor y más económica alternativa dentro de las soluciones comparadas.

CCS Concepts

• Intelligent Transportation Systems → Intelligent Road Infrastructure, Smart Cities and ITS.

Keywords

Benchmarking, Internet of Things (IoT), Intelligent Transportation Systems (ITS), Radio Frequency Identification (RFID), Wireless Sensor Networks (WSN).

Palabras Clave

Evaluación Comparativa, Internet de las Cosas, Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT), Identificación por Radiofrecuencia, Redes de Sensores Inalámbricos.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento del tráfico vehicular se ha convertido en un problema constante alrededor del mundo. En particular, la infraestructura de las ciudades latinoamericanas no tiene la capacidad suficiente para soportar el crecimiento en el número de vehículos automotores. Se hace necesario poner en práctica un conjunto de medidas tecnológicas que mejoren el transporte mediante la optimización de la gestión y la productividad de la infraestructura existente [1].

La aplicación de soluciones de tecnología como los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS, por sus siglas en inglés) constituyen una alternativa viable y de rápido despliegue para mejorar la respuesta de los gobiernos locales a problemas de tráfico en las ciudades [2-3]. Los ITS pueden ser potenciados por paradigmas novedosos como el Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés). Por ejemplo, IoT brinda: mayor eficiencia, confiabilidad y seguridad, al tener a su disposición información del clima, de embotellamientos de tráfico, estaciones de gasolina, parqueaderos, etc. integradas en la misma plataforma [4]. En IoT una red de sensores inalámbricos (WSN por sus siglas en inglés) puede actuar como una infraestructura, donde diferentes aplicaciones y servicios pueden ser instalados [5]. La plataforma de control inteligente vehicular (PCIV) consiste en un ITS que implementa tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID por sus siglas en inglés). Con etiquetas instaladas en los vehículos y lectores RFID desplegados en las vías, se conformó la WSN que constituye la infraestructura IoT bajo la cual se brinda el servicio de monitoreo y control de tráfico vehicular.

Uno de los desafíos para el despliegue de PCIV estuvo en la creación de un lector RFID robusto y confiable, para instalación en las vías urbanas, capaz de funcionar remotamente y de manera automática.

Existen muchas soluciones comerciales para lectores RFID (ver tabla 3). Sin embargo, en muchos casos las soluciones que brindan los fabricantes no se ajustan por completo a las necesidades o requisitos de los usuarios, ya sea por cuestiones de software propietario incompatible entre equipos de diferentes marcas, o porque adaptar estas soluciones comerciales con la infraestructura y condiciones específicas del lugar sea algo difícil para el usuario común. Son muchos los esfuerzos por mejorar las soluciones

comerciales y adaptarlas de acuerdo a las necesidades de la aplicación. En algunos casos interesa que el lector sea de tamaño reducido e integre gran cantidad de componentes con el fin de reducir costos [6]. Otros desarrolladores implementan soluciones en FPGA o microcontroladores [7-9].

RFID tiene aplicabilidad en gran cantidad de entornos [10-14], donde se requiere que la identificación de productos sea efectiva y fácil de implementar. En cuanto a soluciones completas que aplican RFID, el proceso de desarrollo parte de los requisitos y necesidades que debe cumplir el sistema a desarrollar. Soluciones para monitoreo y control de tráfico vehicular son propuestas en [2, 10, 11, 15]. También existen soluciones en el campo de la salud: [14] hacen uso de Redes de Sensores Inalámbricas (WSN por sus siglas en inglés). En [16] se favorece la inclusión de personas con discapacidad visual en las ciudades inteligentes. En [12], se crea un dispositivo para ofrecer servicios de información al cliente. En [17], se muestra un sistema diseñado para la medición de temperatura con esquema WSN, donde los tags cuentan con sensores de temperatura integrados y el sistema de información cuenta con una interfaz de usuario diseñada en J2EE (Java Platform Enterprise Edition).

Dentro del proceso de diseño, la selección, integración y desarrollo de la tecnología a utilizar es un punto importante en el planteamiento de toda solución que adapta tecnología RFID a su aplicación. Sin embargo, para el caso de soluciones completas; en ninguna de las referencias mencionadas se hace una descripción detallada del hardware desarrollado o las herramientas tecnológicas utilizadas. El logro de este artículo está en la descripción detallada de la solución tecnológica implementada, además de su validación y comparación con otros dispositivos comerciales, mostrando de esta forma la relevancia y utilidad del dispositivo desarrollado para infraestructuras ITS.

El artículo se estructura de la siguiente manera. La sección 2 presenta PCIV y sienta el marco del proyecto bajo el cual se desarrolló el lector RFID. La sección 3 describe la metodología del diseño, donde se profundiza en los requisitos de diseño, el desarrollo del lector y se explica el funcionamiento del mismo. La sección 4 presenta los resultados operacionales del lector RFID integrado con la plataforma web de PCIV, además del cumplimiento de los requisitos de diseño. La sección 5 muestra una comparación del sistema desarrollado frente a otras soluciones comerciales. Finalmente, en la sección 6 se presenta la conclusión final del artículo.

2. ANTECEDENTES

El proyecto de investigación "Plataforma de Control Inteligente Vehicular" (PCIV) llevado a cabo por la Universidad Nacional de Colombia y Datatools S.A. y financiado por Colciencias y el Ministerio de Transporte de Colombia, consistió en el desarrollo e implementación de una solución ITS, basada en etiquetas RFID instaladas en los vehículos de transporte público, lectores RFID instalados en vía y un conjunto de servicios montados en una plataforma Cloud Computing. El primer demostrador de campo de esta solución fue desplegado en el municipio de Chía, Cundinamarca, Colombia. El proyecto inició en febrero de 2014 y finalizó en diciembre de 2015.

Una etiqueta RFID pasiva (con frecuencia de operación de 915 MHz), con un número de identificación único, es instalada en cada vehículo registrado en el sistema. Los lectores RFID, estratégicamente instalados en las calles e intersecciones, detectan y leen la información en las etiquetas y a través de la red celular 3G/4G envían las lecturas al sistema de información y

procesamiento. La plataforma web o sistema de información y procesamiento consiste en una aplicación web que utiliza el patrón arquitectónico cliente-servidor y se aprovecha de la auto-escalabilidad y fiabilidad que ofrece Google App Engine con el fin de soportar grandes aumentos de carga y garantizar una alta disponibilidad al mismo tiempo. Éste es el principal responsable de:

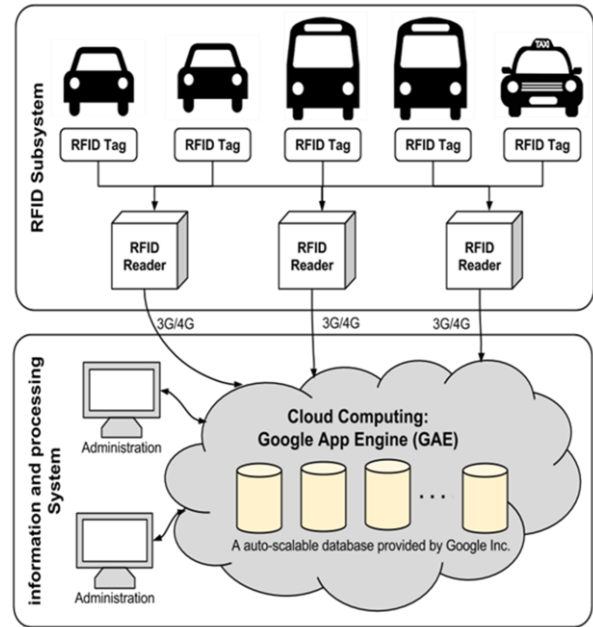


Figura 1. Arquitectura de PCIV.

- Recibir y almacenar lecturas y estados enviados por los lectores.
- Validar los datos enviados por los lectores (completos, dentro del rango válido, etc).
- Permitir consultar lecturas por múltiples criterios (por lector, por etiqueta, por fecha y hora, por coordenadas geográficas, etc.).
- Calcular estadísticas como: volumen vehicular, matriz origen-destino, permanencia de los vehículos en el campus, estadísticas de estacionamiento, tiempos de recorrido, velocidades, distancias, entre otras.

3. METODOLOGIA

El diseño del lector RFID presentado en este documento siguió una Metodología en V clásica [18], donde partiendo de una identificación de necesidades, se llegó a la definición de una serie de requisitos funcionales y no funcionales, los cuales sirvieron como guía de diseño y desarrollo. Al final del proceso, el equipo fue sometido a una serie de pruebas de verificación en donde se comparó el resultado obtenido con las especificaciones iniciales. En esta sección se muestran los requisitos de diseño, el proceso de desarrollo y el funcionamiento del lector.

3.1 Requisitos de diseño

3.1.1 Requisitos funcionales

Protocolo y Estándar: Con el propósito de tener completa compatibilidad con la tecnología RFID comercial y acatar el marco regulatorio colombiano, el lector RFID debe implementar

el protocolo EPC Gen2 y cumplir con el estándar ISO 18000-6C [6].

Rango de medición: Teniendo en cuenta las dimensiones de las vías urbanas del municipio de Chía, los lectores RFID deben tener como mínimo un rango de medición comprendido entre 1 y 8 metros.

Cantidad de lecturas por unidad de tiempo: Para garantizar la correcta comunicación con las etiquetas que estén dentro del área de medición, el lector RFID debe ser capaz de comunicarse con varias etiquetas en cortos periodos de tiempo. Se estableció un mínimo de 5 lecturas por segundo.

Comunicación con el servidor: El sistema debe enviar la información hacia la plataforma web en tiempo real y a la vez garantizar su integridad. Por lo cual, se debe establecer un sistema de comunicaciones robusto y confiable, que evite la pérdida de información y garantice la entrega a tiempo de la misma.

Capacidad de procesamiento multitarea: El lector RFID instalado en vía debe operar en tiempo real, lo cual implica ejecutar diferentes tareas al mismo tiempo. Por ejemplo: interrogación de las etiquetas, encriptación de la información y comunicación con la plataforma web.

3.1.2 Requisitos no funcionales

Escalabilidad y funcionalidad: PCIV aprovecha la auto-escalabilidad y fiabilidad que ofrece Google App Engine, con el fin de soportar grandes aumentos de carga. Los lectores RFID deben ser desplegados como una WSN bajo el paradigma IoT y deben obedecer a esta política de escalabilidad, teniendo en cuenta el futuro incremento de la población bajo monitoreo.

Modularidad y configuración: El lector RFID debe ser constituido como un equipo modular y de tamaño adecuado para su instalación en las vías urbanas. Parámetros como cantidad de antenas, posición geográfica, firmware y hardware del equipo deben poder ser cambiados en cualquier momento.

Filtrado de Etiquetas: Se debe realizar filtrado de la información, ya que el lector RFID puede leer etiquetas ajenas al sistema y generar mediciones erróneas.

Adaptación a las condiciones del medio ambiente: El lector RFID debe ser capaz de soportar las condiciones ambientales típicas de su lugar de instalación.

Si bien existen lectores RFID comerciales que satisfacen varios de los requisitos descritos, no se encontró un dispositivo que diera cumplimiento a todos ellos. Donde la principal dificultad radica en que ningún dispositivo da la posibilidad de configurar un middleware o programa que envíe los datos adquiridos a una plataforma no propietaria. Por tanto, se optó por construir un dispositivo robusto, capaz de realizar tareas como: lectura y filtrado de etiquetas RFID, encriptación y encapsulación de la información y comunicación con la plataforma web. A continuación, se describe el proceso de desarrollo del lector RFID.

3.2 Desarrollo del lector RFID

La arquitectura del lector desarrollado se muestra en la figura 2.

El proceso de desarrollo del lector comprendió la programación, prueba y selección de varios dispositivos para cada uno de los subsistemas mostrados en la figura 2; además, incluyó el desarrollo de varias versiones del lector integrado con diferentes componentes y un experimento de validación de la implementación de todo el sistema (PCIV), que se llevó a cabo en el campus de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

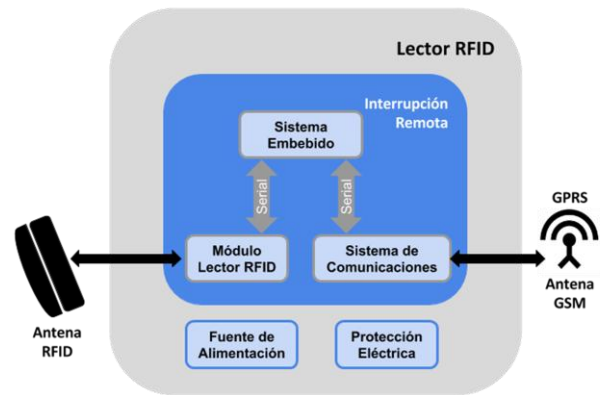


Figura 2. Arquitectura general del lector RFID.

La solución final del lector RFID integra diferentes dispositivos disponibles en el mercado. En la tabla 1 se listan los componentes seleccionados y sus principales características.

Debido a que previamente el Ministerio de Transporte de Colombia había adoptado el estándar ISO 18000-6C para la aplicación de sistemas de RFID al control y gestión del transporte en Colombia, se optó por buscar plataformas que cumplan dicho estándar. Se encontraron sistemas basados en los circuitos integrados: AS399X Austria Microsystems e Indy R2000 Impinj. El dispositivo seleccionado ThingMagic M6e está basado en el procesador Indy R2000 y fue seleccionado por su pequeño tamaño, eficiencia y respaldo del fabricante.

Durante la búsqueda del sistema embebido se tuvo en cuenta plataformas con capacidad de procesamiento multitarea, ejecución del sistema operativo Linux, puertos seriales, I2C y USB (para acceder a interfaces de comunicaciones inalámbricas WIFI 802.11 o Modems 3G/4G), tamaño reducido y bajo consumo de energía. De acuerdo con lo anterior, se identificaron las plataformas: RaspBerry Pi, miniStamp (desarrollada en la Universidad Nacional) y BeagleBone Black. Esta última está respaldada por la comunidad de desarrolladores de software-hardware libre y gracias a sus altas prestaciones se determinó que era el dispositivo ideal para esta aplicación.

Para la selección del sistema de comunicaciones se tuvieron en cuenta requisitos relacionados con robustez y estabilidad de la comunicación. Se identificaron los dispositivos: Quectel M95, Sierra Wireless GL6110 y SierraWireless AirLink fxt009. Se seleccionó este último dispositivo, ya que es un equipo robusto y de uso industrial, que cuenta con el respaldo de la compañía Sierra Wireless, líder en soluciones M2M.

La fuente de alimentación y la protección contra sobretensiones fueron probados en los laboratorios de ensayos eléctricos e industriales (LAFE) de la Universidad Nacional, donde se determinó que la fuente proporciona la potencia necesaria al circuito (22 Vatios en máximo consumo) y la protección preserva a los equipos electrónicos contra sobretensiones transitorias de onda combinada tipo rayo (10 kA), donde su característica de desconexión térmica evita fallas catastróficas en los equipos electrónicos y reduce las posibilidades de incendio generados a partir de picos de energía eléctrica. Se incluyó también un sistema de reinicio remoto teniendo en cuenta que los componentes se encuentran basados en sistemas con microprocesadores que operarán durante meses de forma continua y están sujetos a caer en un estado de ejecución no deseado.

Tabla 1. Características principales del hardware seleccionado para la construcción del lector.

Dispositivo	Referencia	Características	Precio (USD)
Módulo lector UHF RFID	ThingMagic M6e [19]	Protocolo: EPCglobal UHF Class 1 Gen 2. ISO 18000-6C Frecuencia de Operación: 902-928 MHz Potencia de Transmisión: 5-31.5 dBm Interfaces: Serial, USB	398
Sistema Embebido	BeagleBone Black Rev C [20]	Procesador: AM335x 1 GHz ARM Cortex-A8 Ram: 512 MB Flash: 4 GB Interfaces: Serial, USB, Ethernet, SPI, HDMI	55
Sistema de Comunicaciones	Sierra Wireless AirLink fxt009 [21]	Frecuencias de Operación: 900, 1800, 850, 1900 MHz Interfaces. RS232, USB, Audio	229
Sistema de reinicio remoto	QK-G021 [22]	Basado en el modem GSM SIM900 Controlado por SMS 3 salidas - relay	61.06
Fuente de Alimentación	ECP60UD01 [20]	Voltajes: 5 y 12 V Corriente max.: 5 y 3 A	55
Protección de sobretensiones	LSP10120S [20]	Protección contra sobretensiones transitorias de onda tipo rayo, operación térmica. Corriente max. descarga: 20 kA, 8/20 us	22.20
Cofre contenedor	Cofre metálico de colle-rolle IP-55	Material: coll-rolle calibre 18 Protección: IP 55 Pintura aeroestática de 70 a 90 micras	70
Otros	-	Conectores, cables, antenas GSM, tornillería, ensamble, etc.	50
Total:			940.26

Después de realizar la selección de los componentes, estos se ensamblan en un caja con protección IP 55 y de material Coll-Rolle. La selección de este material se realizó teniendo en cuenta que el equipo va a estar ubicado en las vías, por lo tanto, debe soportar variedad de condiciones climáticas, con lo que se cumple el requisito de adaptación a las condiciones del medio ambiente. En la figura 3 se muestran los componentes ensamblados en la caja metálica. Como se puede observar, el equipo desarrollado es un sistema modular, que permite la configuración de diferentes parámetros como: cantidad de antenas, firmware y componentes

hardware. Con lo que se cumple con los requisitos relativos a modularidad y configuración del equipo.

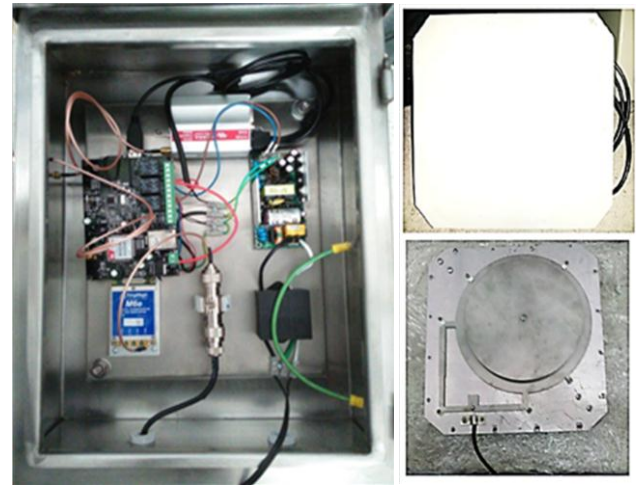


Figura 3. Lector RFID completo.

La antena empleada debe cumplir con el estándar ISO 18000-6C y operar en el rango de frecuencias ISM 902-928 MHz. Para esto se implementaron antenas tipo parche comúnmente usadas para estas aplicaciones. La antena seleccionada posee dieléctrico de aire y un direccionador (figura 3), tiene un coeficiente de reflexión menor a -15 dB y una ganancia de 7.95 dBi en la banda de frecuencias de 915 MHz. Fue diseñada bajo el marco del proyecto PCIV y fabricada en las instalaciones del grupo de investigación EMC-UN de la Universidad Nacional. Su modelo fue simulado computacionalmente y caracterizado en la Cámara Anecoica de la Universidad de los Andes (figura 4). Cabe resaltar que el costo de fabricación de las antenas diseñadas es menos de la tercera parte del costo de una antena importada con las mismas características (Como la RFMax S9025P/8655PL [19]), 40 y 125 USD respectivamente.

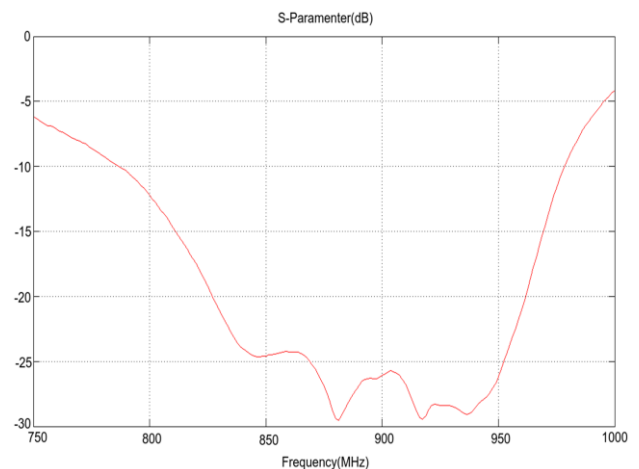


Figura 4. Caracterización, parámetro S11.

3.3 Funcionamiento del lector RFID

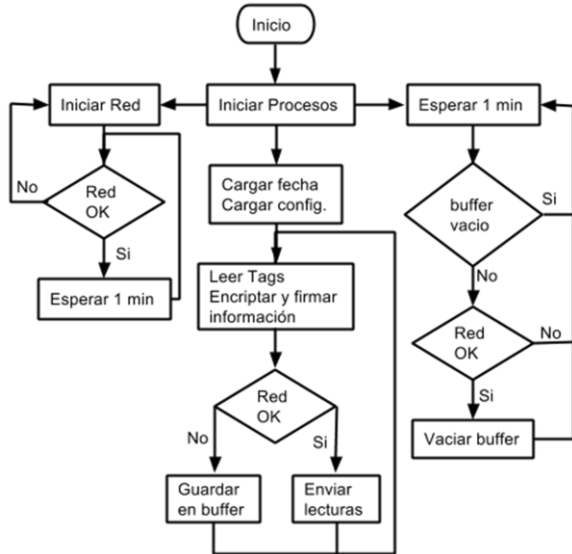


Figura 5. Algoritmo del lector RFID.

El diagrama de flujo de la figura 5 describe de forma simplificada el funcionamiento del programa desarrollado. Entre las tareas que este algoritmo debe realizar se encuentran: comunicación con la plataforma, actualización de firmware, interrogación y filtrado de etiquetas, encriptación de la información, firma y autenticación de los datos, entre otras.

El software desarrollado se ejecuta en el sistema embebido el cual funciona bajo el sistema operativo Linux, distribución Debian, controla los periféricos correspondientes al módulo lector RFID y el sistema de comunicaciones. En caso de fallas del dispositivo embebido o los periféricos, la alimentación de estos dispositivos se controla por medio de una tarjeta de reinicio remoto, la cual se maneja por mensajes GSM desde la plataforma web. Adicionalmente el equipo cuenta con una protección eléctrica contra sobretensiones.

Uno de los requisitos planteados en la sección 3.1, es la capacidad de procesamiento multitarea. El software se basa en tres procesos que aprovechan los recursos del sistema operativo y se ejecutan de manera simultánea. Los procesos son: *leer_tags*, *enviar_tags_pendientes* y *verificar_red*, que se encargan de: lectura, filtrado y encriptación de la información de las etiquetas, reenvío de la información y conexión a la red. Los procesos funcionan conjuntamente, basados en el algoritmo de la figura 5, de tal forma que si *leer_tags* no puede enviar los datos al servidor debido a una falla en la red los guarda en el buffer, el cual almacena la información hasta que la red sea establecida. El proceso *enviar_tags_pendientes* se encarga de desocupar el buffer y se ejecuta de manera independiente. Por último *verificar_red* se encarga de reiniciar el modem 3G y reiniciar la conexión de red. Adicionalmente, cabe resaltar que los datos son subidos a la plataforma haciendo uso del protocolo HTTPS y firmas digitales basadas en la especificación de la firma Amazon Web Services Versión 4 [23], lo que garantiza la privacidad de la información y la autenticidad del remitente, todo este proceso de encriptación y firmas se realiza en los procesos *leer_tags* y *enviar_tags_pendientes*.

4. RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados de la integración del lector RFID con la plataforma web de PCIV y se valida que el dispositivo cumple con los requisitos propuestos para su diseño.

4.1 Resultados de operación del sistema

PCIV fue desplegado en el municipio de Chía, departamento de Cundinamarca, Colombia. En donde, se instalaron 60 etiquetas en los buses de transporte público (que realizan la ruta entre el municipio y el terminal de la calle 170 de la ciudad de Bogotá) y un total de 7 lectores RFID ubicados en puntos estratégicos de las vías urbanas del municipio. Esta red de sensores constituye la infraestructura bajo la cual se montó un sistema de monitoreo y control de rutas de transporte público, basado en una plataforma Cloud Computing, que lleva el mismo nombre (PCIV). Entre las aplicaciones que esta plataforma tiene integradas actualmente, se encuentran: mediciones de tiempo de recorrido, velocidad, distancia y volúmenes vehiculares (figura 6 y 7). Adicionalmente, la plataforma permite consultar el estado de los lectores RFID y la estabilidad de su conexión de red, por medio de una barra de estado (figura 8), que se actualiza minuto a minuto y muestra la frecuencia con que se reportan los equipos a la plataforma web.

Vehículo	Salida - Terminal de Chia 0 m	Salida Avenida Pradilla Cra 3	Salida - Avenida Pradilla con Variante	Entrada Avenida Pradilla Cra 3	Entrada - Secretaría de Transito	Entrada Calle 17 Con Cra 9	Entrada - Terminal de Chia	Total
		2095 m	29695 m	31193 m	516 m	291 m	30754 m	
SQ1546	2015-10-30 16:51	+ 11:20	+ 03:11	+ 75:39	+ 01:59	+ 01:35	+ 05:58	+ 99:42
USC592	2015-10-30 16:51	+ 15:51	+ 03:13	+ 77:12	+ 02:03	+ 01:07	+ 04:41	+ 104:07
SZT347	2015-10-30 17:02	+ 13:32	+ 02:50	+ 73:49	+ 01:44	+ 00:52	+ 05:35	+ 98:22
WCZ790	2015-10-30 17:03	---	+ 02:49	+ 99:45	+ 01:25	+ 00:48	---	---
WLK224	2015-10-30 17:04	+ 13:52	+ 02:49	+ 73:33	+ 01:44	+ 01:13	+ 05:06	+ 98:17
SKY788	2015-10-30 17:16	+ 11:02	+ 03:53	+ 74:47	+ 02:24	+ 01:44	+ 04:56	+ 98:46
TLY077	2015-10-30 17:18	+ 13:23	+ 02:26	+ 75:39	+ 01:47	+ 01:22	+ 05:51	+ 100:28
SKY789	2015-10-30	---	+ 04:38	+ 75:34	+ 01:35	+ 00:57	---	---

Figura 6. Mediciones de tiempo de recorrido y distancia.

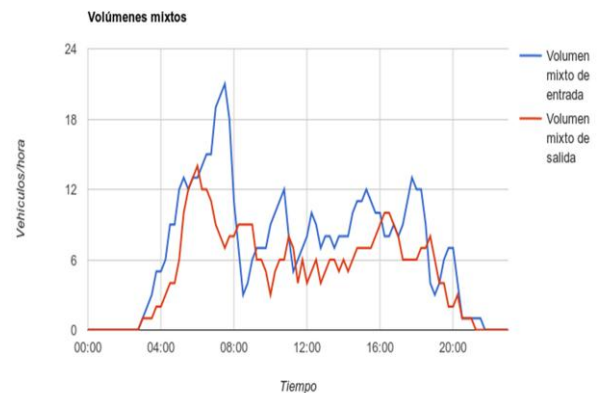


Figura 7. Mediciones de tiempo de recorrido y distancia.

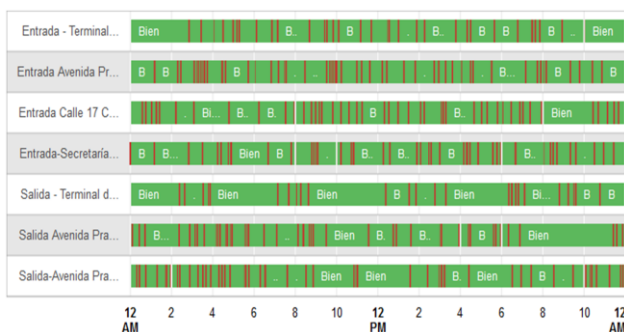


Figura 8. Consulta de estados de los lectores RFID.

Estos resultados ilustran el correcto funcionamiento del lector RFID en su entorno real de trabajo, con lo que se concluye que este dispositivo trabaja adecuadamente con la plataforma web (PCIV), constituyendo la WSN sobre la cual se monta la plataforma basada en IoT. Con esto, se cumple con los requisitos relativos a escalabilidad y funcionalidad.

4.2 Verificación de requisitos

Tabla 2. Cumplimiento de los requisitos del sistema.

Requisito	Propuesto	Real	Cumplimiento
Protocolo y Estándar	EPC Gen2, ISO 18000-6C	EPC Gen2, ISO 18000-6C	✓
Rango de medición	1-8 metros	0-12 metros	✓
Lecturas por unidad de tiempo	5 lecturas/s	15 lecturas/s	✓
Comunicación con el servidor	N.A.	N.A.	✓
Capacidad de procesamiento multitarea	N.A.	N.A.	✓
Escalabilidad y funcionalidad	N.A.	N.A.	✓
Modularidad y configuración	N.A.	N.A.	✓
Filtrado de etiquetas	N.A.	N.A.	✓
Adaptación al medio ambiente	N.A.	N.A.	✓

Como parte del desarrollo, se realizó mediciones a diferentes parámetros para determinar el cumplimiento de los requisitos de diseño (tabla 2).

El programa que se ejecuta en el sistema embebido procesa las lecturas correspondientes a las etiquetas RFID; con este programa en modo de prueba se puede mostrar en consola y en tiempo real las mediciones que se están haciendo en un rango de tiempo determinado. Para el correcto funcionamiento del sistema de lectura se encontró que el dispositivo funciona correctamente para una cantidad máxima de 15 lecturas por segundo, al sobrepasar este valor el módulo RFID empieza a elevar precipitadamente su temperatura. La distancia máxima de lectura varía dependiendo del tipo de etiqueta que se quiera leer, para etiquetas Alien UHF windshield 9654 la distancia máxima de lectura es 12 metros, mientras que para etiquetas Express UHF windshield 9654 la

distancia de lectura máxima obtenida fue de 8.6 metros. Estas pruebas fueron hechas empleando el dispositivo y antena desarrollados, con línea de vista entre las etiquetas y la antena.

El promedio de estabilidad de conexión de la red se determina por medio de la plataforma (figura 8), en donde el lector se reporta cada minuto. Durante las caídas de red los datos son almacenados en el buffer del programa lo cual garantiza que no haya pérdidas de información. El sistema es multitarea y tiene la posibilidad de actualizar su firmware o realizar configuraciones de manera remota. Finalmente, todo el sistema está ensamblado dentro del contenedor metálico con protección IP55 lo que garantiza que el lector RFID sea capaz de soportar las condiciones ambientales típicas de su lugar de instalación.

5. COMPARACIÓN CON OTRAS SOLUCIONES COMERCIALES

En [19], entre los dispositivos que presentan características similares al lector RFID desarrollado en el proyecto PCIV se encuentran:

1. IMPINJ SPEEDWAY REVOLUTION R420 UHF RFID READER (4 PORT).
2. THINGMAGIC M6 UHF RFID READER (4 PORT).
3. ALIEN ALR-9680 RFID READER (4 PORT).
4. THINGMAGIC ASTRA-EX INTEGRATED RFID READER - WI-FI (1 PORT).
5. MOTOROLA FX9500 RFID READER (8 PORT).
6. MOTOROLA FX7500 RFID READER (2 PORT).

En la tabla 3 se muestra una comparación detallada de las características del lector desarrollado en PCIV frente a otras soluciones comerciales. Solamente el lector desarrollado incorpora un sistema de comunicaciones GPRS que posibilita el almacenamiento de la información en la nube. Para cada uno de los seis casos de comparación, las antenas, cables y conectores se compran por separado, lo que incrementa su precio en 150 USD por antena, a excepción del equipo número 4, que sólo permite una antena y ya viene instalada. Sólo el lector desarrollado incorpora un sistema de reinicio remoto y de protección eléctrica contra sobretensiones que permiten reducir los costos de operación del sistema, dado que reduce la posibilidad de tener que realizar ajustes in situ. Adicional a esto, el equipo puede actualizar su firmware de manera remota gracias a que el programa principal corre en un sistema embebido, con linux empotrado, lo que ofrece muchas más ventajas relativas a versatilidad, confiabilidad y ampliación de las características del sistema, en caso de que se quieran adicionar nuevas funcionalidades.

Al comparar el sistema con otras soluciones más completas disponibles en el mercado, se aprecian las ventajas del dispositivo lector desarrollado. El fabricante RFMAX ofrece el WEATHERPROOF RFID READER ENCLOSURE [24], un contenedor a prueba de agua para un lector RFID, donde se pueden ensamblar lectores IMPINJ SPEEDWAY REVOLUTION R420 y MOTOROLA FX7500 ó FX9500. Sin embargo, esta solución constituye solamente una protección para estos lectores comerciales y no ofrece funcionalidades extra como sistemas GPRS, wifi u otros.

Tabla 3. Comparación del lector desarrollado con otros dispositivos.

Característica	1	2	3	4	5	6	Lector de PCIV
Frecuencia de operación [MHz]	860 - 960	865 - 928	902 - 927	---	902 - 928	902 - 928	860 - 960
Potencia de transmisión [dBm]	30	31.5	36	30	33	31.5	31.5
Puertos antena	4	4	4	1	4	2	4
Antenas incluidas	0	0	0	1	0	0	2
Interfaces							
RS232	si	no	si	no	si	no	si
Ethernet	si	si	si	si	si	si	si
Wi-Fi	no	si	no	si	no	no	no
USB	no	no	no	no	no	no	si
GSM/GPRS	no	no	no	no	no	no	si
Condiciones Ambientales							
IP indice	52	52		52	53	53	55
Temperatura de operación [°C]	-20/50	-20/50	-20/55	-20/50	-20/55	-20/55	-20/55
Application Interface							
Host API	.NET	MercuryAPI and LLRP	Java, .NET, Ruby APIs	MercuryAPI and LLRP	C#, .NET	C#, .NET	C
Demo software	MultiReader Software	Universal Reader Assitant	Alien Gateway	Universal Reader Assitant	PowerSe ssion	PowerSe ssion	PCIV (cloud-computing)
Otros							
Sistema de reset remoto	no	no	no	no	no	no	si
Protección de sobretensiones	no	no	no	no	no	no	si
Precio (USD)							
Lector	1585	1395	889	1140	1995	1185	940.26
+ Antena [19]	+125	+125	+125	+(incluida)	+125	+125	+40
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Total	1710	1520	1014	1140	2120	1310	980.26

En el sitio web aidarfid.com, se encuentra una solución mucho más completa de la empresa AidA, fabricantes de soluciones RFID, este producto ofrece dispositivos RFID inteligentes (IRU del inglés Intelligent Reading Units) [25]. Los IRU son una solución análoga al lector mostrado en este artículo. AidA ofrece además software propietario para configuración y monitoreo remoto del sistema. La ventaja que tiene PCIV frente a este tipo de soluciones radica en que la base de datos e interfaz de usuario se basa en computación en la nube lo cual garantiza estabilidad, disponibilidad y seguridad de la plataforma, además del hecho de que se pueda acceder a esta desde cualquier dispositivo con acceso a un navegador de internet.

6. CONCLUSIÓN

En este documento se presenta de manera detallada el proceso de diseño y la validación del lector RFID desarrollado bajo el marco del proyecto PCIV. Este dispositivo constituye el elemento terminal de una infraestructura ITS enfocada al monitoreo y control de tráfico vehicular basada en una red de sensores inalámbricos (WSN) desplegados bajo el paradigma del

Internet de las Cosas. Además, el dispositivo desarrollado se destaca frente a otros dispositivos y soluciones comerciales para aplicaciones de la tecnología RFID. Desarrollado para operar de manera remota al ser instalado a la intemperie en puntos estratégicos de las vías urbanas. Con capacidades de procesamiento multitarea, lectura de 15 etiquetas por segundo, rango de medición de hasta 12 metros y con protección IP55, se satisfacen los requisitos de diseño relacionados con procesamiento, escalabilidad, configuración remota, y desempeño del dispositivo. Además, mediante los resultados mostrados por la plataforma web se demuestra que el lector RFID opera de manera correcta en una infraestructura ITS cumpliendo con los requisitos de escalabilidad y soporte para compartir información. Finalmente, la comparación con otros dispositivos similares disponibles en el mercado demuestra que es la opción más económica y con mayores capacidades dentro de los aspectos evaluados.

7. TRABAJO FUTURO

El dispositivo lector RFID y la plataforma PCIV presentados en este documento pueden ser usados en diferentes aplicaciones y entornos en donde se requiera la captura de datos remota. Actualmente, el grupo de trabajo se encuentra investigando la aplicación de redes de sensores inalámbricas, RFID y computación en la nube, bajo el paradigma IoT, para el monitoreo y procesamiento de diferentes variables como los niveles de radiación electromagnética, variables climáticas, e inventario de ganado.

8. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá y Datatools S.A. dentro del proyecto de investigación "Plataforma de Control Inteligente Vehicular" con código HERMES 20097, el cual es financiado por el Ministerio de Transporte de Colombia a través de la convocatoria 622-2013 de Colciencias.

9. REFERENCIAS

- [1] I. Thomson and A. Bull, "La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales," *Revista de la CEPAL*, no. 76. pp. 109–121, 2002.
- [2] J. Hu and G. Li, "Design of City-Bus Intelligent Control System Framework," in *2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 2006, pp. 2307–2311.
- [3] S. An, B. Lee, and D. Shin, "A Survey of Intelligent Transportation Systems," in *2011 Third International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks*, 2011.
- [4] Intel Corporation, "Building an Intelligent Transportation System with the Internet of Things (IoT)." 2014.
- [5] J. a Stankovic and L. Fellow, "Research Directions for the Internet of Things," *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 3–9, 2014.
- [6] C. Park, G. Choi, J. Chae, and B. Kim, "A Design for Passive RFID System on a Chip", pp. 836–839, 2009.
- [7] C. Ying and Z. Fu-Hong, "A System Design for UHF RFID Reader," in *ICCT 2008. 11th IEEE International Conference on Communication Technology*, 2008, pp. 301–304.
- [8] Y. Guohao and W. Longjun, "The design and application based on the embedded RFID controller," in *2008 2nd International Conference on Anti-counterfeiting, Security and Identification*, 2008, pp. 463–466.
- [9] L. K. Bandyopadhyay, P. K. Mishra, and S. K. Chaulya, *Wireless Communication in Underground Mines*, vol. 9, no. 9. 1990.
- [10] M. Hannan and A. Mustapha, "Intelligent Bus Monitoring and Management System," in *World Congress on Engineering and Computer Science 2012 Vol II*, 2012, vol. II.
- [11] S. B. Hassan and T. S. Jiann, "Design of a RFID-based speed monitoring system for road vehicles in Brunei Darussalam," in *2014 IEEE International Conference on Computer, Communication and Control Technology*, 2014, no. I4ct, pp. 219–223.
- [12] M.-S. J. M.-S. Jian and S. H. H. S. H. Hsu, "Location Aware Public/Personal Diversity of Information Services based on embedded RFID Platform," in *2009 11th International Conference on Advanced Communication Technology*, 2009, vol. 02, pp. 1145–1150.
- [13] B. Shi, M. Dai, and F. Xu, "Research on application of RFID system with 2nd-generation ID card based on ZigBee wireless network," in *2010 International Conference on E-Health Networking, Digital Ecosystems and Technologies, EDT 2010*, 2010, vol. 1, pp. 443–446.
- [14] R. S. Tolentino, K. Lee, Y.-T. Kim, and G.-C. Park, "Next generation RFID-based medical service management system architecture in wireless sensor network," in *International Conference on Communication and Networking, FGCN 2010, Held as Part of the Future Generation Information Technology Conference, FGIT 2010*, 2010, vol. 119 CCIS, no. PART 1, pp. 147–154.
- [15] P. Anuradha and R. Sendhilkumar, "Design and implementation of Zigbee-RFID based vehicle tracking," in *International Conference on Sustainable Energy and Intelligent Systems (SEISCON 2011)*, 2011, no. Seiscon, pp. 689–694.
- [16] A. M. Kassim, H. I. Jaafar, M. a. Azam, N. Abas, and T. Yasuno, "Design and development of navigation system by using RFID technology," in *2013 IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology*, 2013, pp. 258–262.
- [17] H. Y. Guo, C. Y. Guo, and F. Q. Wang, "The design and realization of the integration of internet and LAN-based RFID and the intrusion detection system based on snort in the RFID system with ethernet interface," in *2010 2nd International Symposium on Aware Computing, ISAC 2010 - Symposium Guide*, 2010, pp. 181–184.
- [18] US Department of Transportation (UDOT)-Federal Highway Administration, "Systems engineering for intelligent transportation systems". Report number FHWA-HOP-07-069. 2007.
- [19] Atlas RFID store. <http://www.atlasrfidstore.com>, Octubre 2015.
- [20] Digi-Key Electronics. <http://www.digikey.com>, Octubre 2015.
- [21] Sierra Wireless. http://estore.sierrawireless.com/airlink_fxt009_development_kit, Octubre 2015.
- [22] Quark- elec. http://www.quark-elec.com/onlinemall/index.php?route=product/product&product_id=52, Octubre 2015.
- [23] J. Varia and S. Mathew, "Overview of Amazon Web Services," no. January. 2014.
- [24] RFMAX. <http://www.atlasrfidstore.com/rfmax-weatherproof-rfid-reader-enclosure/>, Octubre 2015.
- [25] AIDA. <http://www.aidarfid.com/index.php/products-solutions/products>, Octubre 2015.