

## Avances sobre un sistema de semaforización inteligente para la Industria Minera utilizando tecnología Swarm Bee RFID

BARRIOS-GARCÍA, Jorge Alberto\*†, MOREIRA-GALVÁN, José Cruz, SAHAGÚN-MONTOYA, Lucila Alejandra y NAVA-DE LA ROSA, Martha Griselda

*Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas*

Recibido Enero 5, 2017; Aceptado Marzo 20, 2017

### Resumen

El presente trabajo describe los avances obtenidos sobre el desarrollo de un sistema de semaforización inteligente para la industria minera como una estrategia de resolución de problemas de tráfico vehicular en este tipo de compañías. Esto mediante Tecnología RFID, específicamente Swarm Bee de Nanotrón. Se pretende que, una vez concluido el desarrollo de este sistema sea posible contar con mecanismos automatizados que eficienten el tráfico en los distintos cruces vehiculares. Así mismo coadyuvar a la seguridad en lo referente al tráfico en el interior de las minas. Se ha realizado un estudio del estado del arte en sistemas de Semaforización inteligente, independientemente de su ámbito de aplicación. Para posteriormente elaborar una secuencia de algoritmos enfocados al tráfico en el argor de la industria minera, los cuales serán mostrados en un simulador que permitirá su revisión en un ambiente controlado. Para la realización de éste proyecto se utilizaron diferentes tecnologías informáticas, tal como el lenguaje de programación C#, una base de datos SQLite y la ya mencionada tecnología de radiofrecuencia Swarm Bee. Esto tanto para la elaboración del prototipo del simulador para prueba de los algoritmos, como para su posible uso en el sistema real.

**RFID, semaforización inteligente, automatización, seguridad, tiempo real**

### Abstract

This paper describes the advances obtained on the development of an intelligent semaphorization system for the mining industry as a strategy for solving vehicular traffic problems in this type of company. This through RFID Technology, specifically Nanotron Swarm Bee. It is intended that, once the development of this system is completed, it will be possible to have automated mechanisms to efficiently traffic in different vehicular crossings. Also contribute to safety in relation to traffic inside the mines. A state-of-the-art study has been carried out in intelligent signaling systems, regardless of their scope. In order to later elaborate a sequence algorithms focused to the traffic in the argor of the mining industry, which will be shown in a simulator that allow its revision in a controlled environment. Different computer technologies, such as the C# programming language, a SQLite database and the aforementioned Swarm Bee radio technology, were used for the realization of this project. This both for the elaboration of the prototype of the simulator for testing the algorithms, and for its possible use in the real system.

**RFID, intelligent traffic lights, automation, security, real time**

**Citación:** BARRIOS-GARCÍA, Jorge Alberto, MOREIRA-GALVÁN, José Cruz, SAHAGÚN-MONTOYA, Lucila Alejandra y NAVA-DE LA ROSA, Martha Griselda. Avances sobre un sistema de semaforización inteligente para la Industria Minera utilizando tecnología Swarm Bee RFID. Revista de Cómputo Aplicado 2017, 1-1: 1-10

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jbarrios@utzac.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

La automatización de procesos críticos en los diferentes ámbitos de las organizaciones, es en la actualidad un aspecto que debe ser atendido como prioritario, sobre todo en una industria como lo es la minería, dónde se exige atención principalmente en dos aspectos: por un lado en la optimización de procedimientos y operaciones productivas y por otro en los aspectos de seguridad y confiabilidad de sus sistemas.

El trabajo descrito en éste artículo representa parte de un proyecto de semaforización inteligente que no solo conducirá a la modernización de ésta industria, sino que coadyuvará al resguardo de la seguridad del personal y de los propios vehículos que transitan al interior de las minas. En la primera fase se diseñaron una serie de algoritmos, en los que se especifica el comportamiento que el sistema de semaforización inteligente debería poseer una vez concluido. Esto de acuerdo a casos básicos muy específicos de control de tráfico.

En una etapa subsecuente se pretende utilizar la tecnología RFID Swarm Bee de Nanotron para diseñar un prototipo, que en conjunto con un simulador de tráfico informático facilite probar los algoritmos en un ambiente controlado que permita más adelante con mayor seguridad implantar el sistema en el medio ambiente real de una mina.

Por ahora se cuenta con algoritmos en los que se estudiarán los diferentes casos que pudiesen ocurrir al momento de coincidir varios vehículos en algún cruce, esto considerando su tipo de acuerdo a las características físicas tal como su tamaño y la prioridad de paso que determinarán el comportamiento del semáforo inteligente.

Este artículo se encuentra estructurado por tres apartados importantes.

En el primero de ellos se describe el cómo se ha desarrollado este proyecto comenzando por los antecedentes, la problemática detectada y a grandes rasgos los pasos seguidos para llevarlo a cabo. Se muestran enseguida los resultados a los que se ha llegado y las conclusiones hasta el momento.

## Desarrollo

### Antecedentes

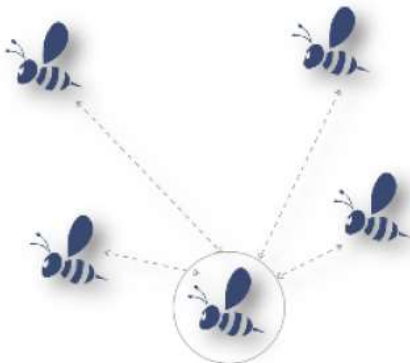
Existe una iniciativa para el desarrollo e implementación de un conjunto de módulos de sistemas de software que pretenden solventar distintas problemáticas que se presentan en el trabajo diario al interior de las empresas mineras, ya sea que resuelvan necesidades de automatización, eficiencia de procesos o bien situaciones de contingencias a la seguridad del personal que en ellas labora.

El componente del cual trata este artículo, es el que corresponde a la creación de un sistema de control vehicular mediante semáforos inteligentes en el contexto de la minería. Se comenzará describiendo a grandes rasgos en que consiste la tecnología de Swarm Bee empleada, para posteriormente hablar de algunos casos de semaforización inteligente que llamarán la atención.

Swarm bee es una tecnología basada en etiquetas de radiofrecuencia constituida mediante un conjunto de nodos interconectados punto a punto, en dónde cada uno es independiente los demás, pero es capaz de mantener comunicación con ellos de manera bidireccional. Además cuentan con sus propias pilas de energía para así permitir su funcionamiento en aplicaciones en movimiento continuo como un enjambre de abejas (Ver figura 1).

Para cumplir con su propósito, este sistema deberá ser capaz de realizar dos tareas fundamentales:

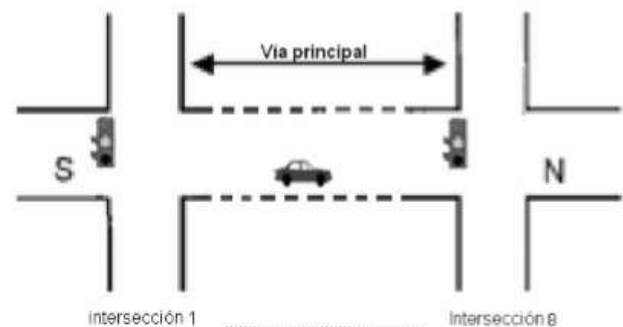
1. Cada etiqueta deberá difundir su identificador a los demás nodos en su radio de alcance en el enjambre. Esto es, un nodo propaga periódicamente su propia ID junto con información de su estado de manera que otros nodos puedan ser conscientes de su presencia y puedan decidir su interacción con él.
2. Escuchar a otros identificadores de difusión en el enjambre y reaccionar a ellos. Cuando un nodo recibe un paquete de datos, deberá registrar la identificación del nodo (y en su caso la información recibida) e iniciar una operación.



**Figura 1** Localización colaborativa de nodos en el concepto de enjambre. (nanotron, 2004)

Los datos de sensores recibidos son variables, siendo algunos de ellos la temperatura, la aceleración, el nivel de batería, la clase de nodo, el modo de administración de energía, entre otros. Todos estos datos de información, se almacenan en el nodo enjambre de recepción y es posible accederlos a través de su Interfaz de Comunicación de Aplicaciones (API). Esta API se ha implementado de manera que permita a los usuarios crear sus propias aplicaciones si es necesario.

Conocer las experiencias que se han tenido en un determinado tema por otros investigadores es vital como punto de partida en un proyecto. Se han hecho investigaciones sobre semaforización en América Latina, por ejemplo Salcedo, Hernández y Pedraza en su artículo "Modelo de Semaforización Inteligente para la Ciudad de Bogotá" han presentado un diseño de un modelo de tráfico vehicular, el cual examina el tráfico existente en una vía principal de Bogotá a través de una serie de semáforos, y a partir de esto se sincroniza el tiempo de duración y de desfase de los semáforos, utilizando para ello el Sistema de Inferencia Difusa Basado en Redes Adaptativas e intentando mantener a su vez la velocidad máxima de los vehículos permitida en la vía (Figura 2). El modelo es simulado en el software Matlab y se evalúan los resultados a nivel macroscópico con el modelo de temporización fija que funciona actualmente en Bogotá.



**Figura 2** Estructura general de la vía – Caso Bogotá. (Salcedo, Hernández, & Pedraza, 2006)

Se introduce un modelo microscópico de tráfico vehicular, prácticamente es un modelo ideal basado en el comportamiento cinemático de un solo vehículo que viaja a través de una secuencia de semáforos que se encienden y apagan con una frecuencia específica y que presentan distancias fijas (para este caso 100 metros).

Este artículo presenta un modelo de análisis de tráfico que pudiera ser tomado como punto de partida para el diseño del simulador independientemente del tipo de tecnología con el que se automatice, para nuestro caso sería como ya se ha mencionado antes con etiquetas de radiofrecuencia.

López, Danilo Alfonso, describe en su artículo "Sistema de Comunicación TCP/IP para el Control de una Intersección de Tráfico vehicular" el desarrollo de un prototipo de un controlador cuyo sistema de comunicación se basa en el protocolo TCP/IP, para monitorear y controlar remotamente el funcionamiento de las luces de los semáforos de una intersección vehicular (Figura 3). Los resultados muestran los tiempos de comunicación entre la central y el controlador de tráfico. Las conclusiones destacan la importancia del uso del protocolo TCP/IP en los sistemas de semaforización.



**Figura 3** Esquema general del sistema. (Lopez, Danilo Alfonso, 2013)

La comunicación entre la tarjeta principal y la tarjeta Ethernet se divide en dos rutinas: la rutina principal y la rutina de recepción/transmisión. Si bien este trabajo se refiere a un modelo basado en protocolos de comunicación TCP/IP, los algoritmos que se pudieran extraer son igual de válidos para uno desarrollado mediante tecnología de radiofrecuencia.

Por su parte Martínez Arnorozo comenta en su artículo "Semáforos inteligentes" que el aumento del tráfico y las congestiones vehiculares se han vuelto un problema en muchas ciudades de todo el mundo, en especial en Paraguay. Con los sistemas de semáforo convencionales no es posible controlar tal embotellamiento, por lo que se trata de encarar la situación con otro enfoque para superar los problemas de congestión. Los semáforos inteligentes parecen ser una solución óptima pero aún no fueron explotadas al máximo. Se propone el uso de tecnologías RFID, Redes de sensores inalámbricos, Procesamiento de Imágenes e inteligencia artificial para ser abordadas. Este trabajo habla sobre las diversas tecnologías implementadas, así como las aplicaciones y la actualidad de los mismos. Al final, trata sobre un enfoque futurista que tal vez sea la solución definitiva a esta problemática.

### Problemática

La industria de la minería ha sido históricamente un aspecto preponderante para el desarrollo económico del Estado de Zacatecas, del propio País o de cualquier otro en el mundo. No obstante es conocido que este tipo de empresas presentan también los mayores riesgos para los trabajadores que en ellas laboran.

En la actualidad, contar con un sistema que sea capaz de procesar el flujo vehicular que transita dentro de las empresas mineras es una necesidad latente que debe ser resuelto en lo inmediato de manera efectiva, para así disminuir la tasa de accidentes de personal o bien para eficientar el tráfico, evitando embotellamientos innecesarios.

Además de los aspectos de seguridad de los trabajadores, es necesario mencionar los problemas de productividad ocasionados por procesos ineficientes, de los cuales el tráfico vehicular no queda excluido.

## Objetivos

### Objetivo general

Diseñar algoritmos para el control de tráfico vehicular en la industria minera mediante semaforización inteligente utilizando tecnología RFID Swarm Bee.

### Objetivo específicos

- Investigar el Estado del Arte de semaforización automática.
- Desarrollar Algoritmos adecuados para la semaforización en la industria minera.
- Elaborar una aplicación como esquema para la simulación de los algoritmos desarrollados.

### Metodología a desarrollar

Una vez documentado el estado de arte, el proyecto se divide en tres fases, en la primera se trata de la elaboración de los algoritmos básicos de semaforización inteligente, de modo que puedan servir como punto de partida para solucionar los casos más complejos.

En una segunda etapa se empleará un sistema para la simulación, desarrollado en C# que permitirá probar dichos algoritmos en un ambiente controlado, así mismo diseñar algoritmos con casos más complejos que pudieran darse en el contexto real de una mina. Finalmente se adecuará el sistema simulador para que se puedan realizar pruebas utilizando las etiqueta RFID para analizar su comportamiento. Esto se aprecia en la siguiente ilustración (Ver figura 4):

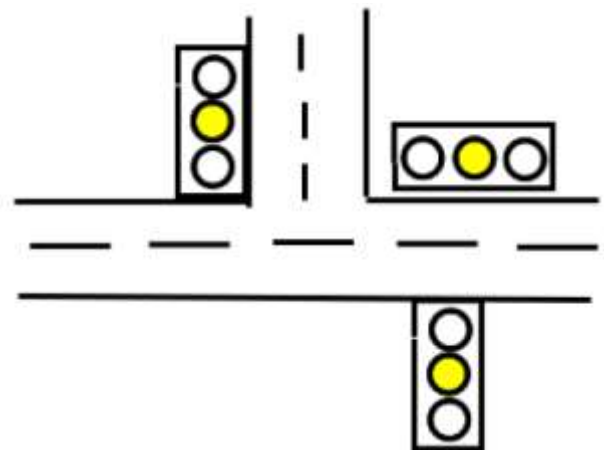


**Figura 4** Fases del proyecto de Semaforización inteligente. Elaboración propia

### Fase I. Desarrollo de los Algoritmos

Para el diseño y análisis de los algoritmos se plantearon diferentes casos básicos que podrían ocurrir en los cruces, así mismo se ha considerado tomar en cuenta el tipo de estos vehículos. Esto es mostrado mediante tablas de prioridades expuestas en cada uno de los cuatro casos básicos a continuación:

**Caso número uno.** Este caso contempla la situación más básica de los semáforos en un cruce vehicular, en el que los semáforos se inician en color amarillo representando un estado de alerta en espera de la posible detección de transportes que transitan dentro de la mina (Ver figura 5).



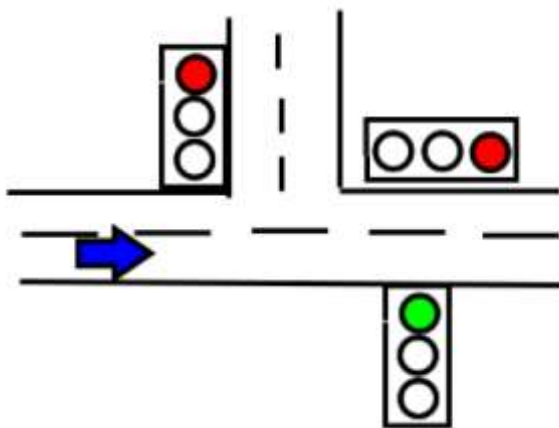
**Figura 5** Esquema de tráfico - Caso Uno. Elaboración propia

En la tabla No 1 se muestran las prioridades establecidas para la toma de decisiones. Como para el caso uno no se ha considerado la detección de ningún vehículo, todos están en ceros lo cual es señal de que se encuentran inactivos.

Vehículo	D1 Semáforo uno	D2 Semáforo dos	D3 Semáforo tres
Ambulancia	0	0	0
Bomberos	0	0	0
Paramédicos	0	0	0
Carga pesada	0	0	0
Carga media	0	0	0
Carga liviana	0	0	0
Transporte personal 1	0	0	0
Transporte personal 2	0	0	0
Transporte personal 3	0	0	0

**Tabla 1** Prioridades del caso uno. Elaboración propia

**Caso número dos.** Al momento de que un vehículo es detectado por uno de los semáforos, se ejecuta el subproceso de búsqueda de datos el cual debería arrojar la prioridad y el tipo de vehículo que se aproxima, en este caso la flecha de color azul representaría a un vehículo de transporte de personal, al momento el semáforo que lo detecta se pone en color verde y los demás en color rojo para permitirle el paso. (Ver figura 6).



**Figura 6** Esquema de tráfico - caso dos. Elaboración propia

En la tabla No. 2 Se encuentran los tipos de prioridades que pueden tener los semáforos para el caso dos, es decir que se detectó un vehículo de transporte de personal.

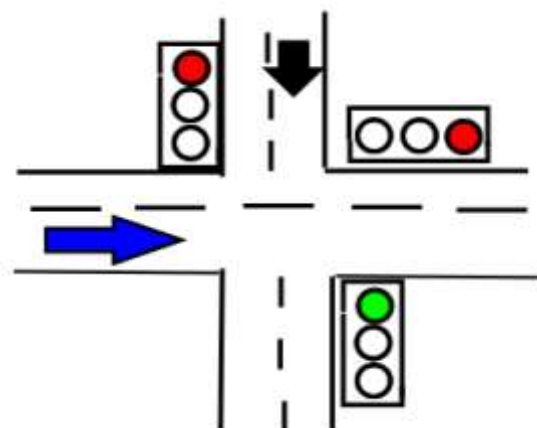
La lectora que lo detectó fue la D2 o Semáforo dos, esto implica cambios en la tabla de prioridades:

Vehículo	D1 Semáforo uno	D2 Semáforo dos	D3 Semáforo tres
Ambulancia	0	0	0
Bomberos	0	0	0
Paramédicos	0	0	0
Carga pesada	0	0	0
Carga media	0	0	0
Carga liviana	0	0	0
Transporte personal 1	0	0	0
Transporte personal 2	0	1	0
Transporte personal 3	0	0	0

**Tabla 2** Prioridades del caso dos. Elaboración propia

### Caso número tres

Este caso describe la situación en la cual dos vehículos son detectados y el subproceso de búsqueda arroja los datos correspondientes al tipo de vehículo y su prioridad. En este caso la flecha de color azul representa una ambulancia y la flecha negra representa un camión de bomberos, de modo que el semáforo se pondría en color verde para la ambulancia y en color rojo para el camión de bomberos debido a la prioridad. (Ver figura 7).



**Figura 7** Esquema tráfico caso tres. Elaboración propia.



En la tabla No. 3 Se encuentran los tipos de prioridades que pueden tener los semáforos al momento que detectan uno o varios vehículos, en este caso son una ambulancia y un camión de bomberos, por ello, la lectora D2 o Semáforo dos se coloca en verde para permitir el paso y deteniendo al camión de bomberos con los demás semáforos. Ahora el semáforo Tres se coloca en color verde permitiendo así el cruce del camión.

Vehículo	D1 Semáforo uno	D2 Semáforo dos	D3 Semáforo tres
Ambulancia	0	1	0
Bomberos	0	0	1
Paramédicos	0	0	0
Carga pesada	0	0	0
Carga media	0	0	0
Carga liviana	0	0	0
Transporte personal 1	0	0	0
Transporte personal 2	0	0	0
Transporte personal 3	0	0	0

Tabla 3 Prioridades del caso tres. Elaboración propia

**Caso número cuatro**

Igualmente que en los casos anteriores al momento de que las lectoras detectan movimiento, se ejecuta el subproceso de búsqueda, en este caso la flecha de color morado representa un vehículo de carga liviana, la flecha café representa un transporte de personal grande y por último la flecha blanca representa un transporte de personal medio, al momento de ser detectados las lectoras reciben la prioridad. Para el vehículo de carga liviana se coloca el semáforo de color verde y los vehículos de transporte de personal grande y mediano en color rojo. Después se coloca el color verde para el vehículo de transporte de personal grande y dejando al último al transporte mediano. (Ver figura 8).

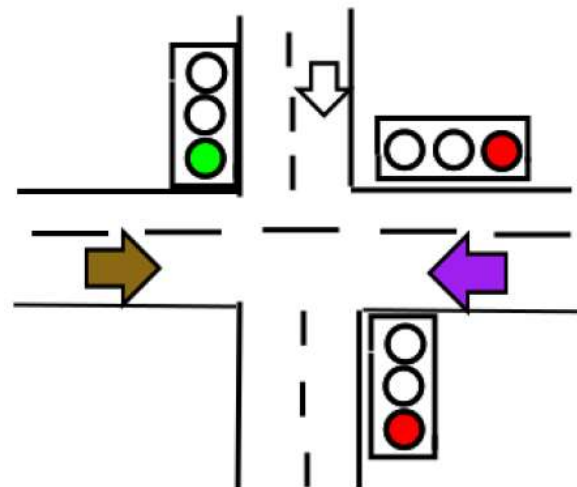


Figura 8 Esquema de tráfico – Caso cuatro. Elaboración propia

En la tabla No. 4 se muestran los estados en los que quedarían los distintos semáforos.

Vehículo	D1 Semáforo uno	D2 Semáforo dos	D3 Semáforo tres
Ambulancia	0	0	0
Bomberos	0	0	0
Paramédicos	0	0	0
Carga pesada	0	0	0
Carga media	0	0	0
Carga liviana	1	0	0
Transporte personal 1	0	1	0
Transporte personal 2	0	0	1
Transporte personal 3	0	0	0

Tabla 4 Prioridades de caso número cuatro. Elaboración propia

**Fase 2. El simulador**

Al momento de obtener los algoritmos y diagramas principales del sistema se procedió a su codificación al lenguaje de programación específicamente C# para comenzar a tener una vista del proyecto.

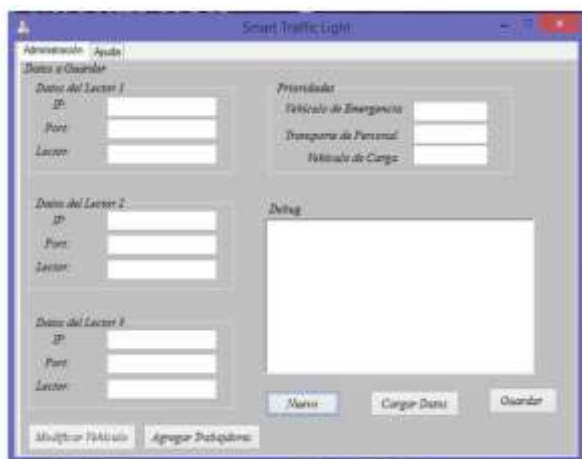
A continuación se muestran algunas imágenes del sistema ya configurado y trabajando en la interacción de los semáforos.

**Vista de Inicio.** Interfaz que contiene el nombre del sistema, así mismo los botones de inicio y de ayuda. (Ver figura 9).



**Figura 9** Posibles estados de los semáforos. Elaboración propia

**Datos de configuración.** La figura 10 muestra que al momento de que son ingresados los datos de configuración al sistema, éstos quedan almacenados de manera persistente. Así estará listo el simulador para ejecutar los algoritmos planteados anteriormente.



**Figura 10** Interfaz de configuración. Elaboración propia

**Modificación de vehículos.** Se trata de una interfaz en la cual se muestra la variedad de transportes que se pueden utilizar para el sistema mediante imágenes miniaturas. En la figura 11 se pueden apreciar los distintos vehículos divididos en tres secciones las cuales son de emergencia, de carga y de transporte de personal. Al momento de seleccionar tres de ellos, serán guardados en una base de datos para su uso en el simulador.



**Figura 11** Selección de imagen para tipos de vehículos. Elaboración propia

**Inicio en estado de alerta.** A continuación se visualizan de forma gráfica los algoritmos que se aplicaron en el simulador, los cuales fueron descritos en la sección anterior. Al momento de que se guardan los datos de configuración, el sistema automáticamente mostrará la pantalla del simulador. Y una vez elegida la opción "conectar" comenzará a trabajar el sistema. (Ver figura 12).





**Figura 12** Pantalla de simulador de tráfico. Elaboración propia

## Resultados

Como resultado de éste trabajo que como se ha dicho antes corresponde a los de avances en el proyecto de semaforización inteligente para la industria minera, se han marcado los cimientos para que de manera sistemática y controlada se pueda contar con una herramienta para el control de tráfico que coadyuvará a la seguridad del personal que labora en el interior de las minas. Esto a su vez pudiera sin muchos problemas ser aplicado en otros ámbitos en donde el control del tráfico vehicular sea un aspecto importante, que de hecho pudieran ser demasiados.

Si bien por ahora solo se han generado y simulado cuatro casos básicos de los posibles que pudieran ser encontrados en un ambiente real, se ha marcado precedentes para trabajar y evolucionar el comportamiento de estos sistemas.

El simulador puede y debe ser evolucionado para que por un lado permita probar mayor cantidad de casos de tráfico y por otro permita el empleo de la tecnología RFID.

Se espera que lo expuesto en este material sirva para que en las industrias mineras o bien en la academia se le dé continuidad a éste trabajo y por mende llegara a ser implementada esta tecnología.

## Conclusiones

Las aportaciones del desarrollo del Módulo de Semaforización inteligente resultan muy valiosas, ya que el proyecto tendrá significativos beneficios para las empresas mineras una vez concluido. Al permitirles tener una mayor optimización de sus procesos en cuanto control de tráfico dentro de las minas.

- Así mismo se llevó a cabo un estudio del estado del arte de semaforización automática de trabajos que ya han sido publicados en los intentos de resolución del control del tráfico vehicular alrededor del mundo.
- Posteriormente de acuerdo a lo investigado se desarrollaron varios algoritmos que se serán útiles al problema del control vehicular en la empresa minera.
- Por último se desarrolló un simulador como esquema para probar los algoritmos desarrollados.

Se pretende que los hallazgos y algoritmos realizados permitirán estudiar el comportamiento el sistema de semaforización inteligente en situaciones similares a las reales en el campo laboral de la industria minera.

## Referencias

Ceballos, F. (2012). *Microsoft C# Curso de Programación*. Alfaomega.

*conceptodefinicion.de.* (s.f.). Recuperado el 29 de 01 de 2017, de <http://conceptodefinicion.de/simulacion/>

Ferguson, J., Patteron, B., & Beres, J. (2003). *La Biublio C#*. España: Anaya.

Libera. (2010). *RFID TECnologías, Aplicacionnes y Perspeftivas*. *Libera Networks*.

Lopez, Danilo Alfonso, P. H. (2013). Sistema de comunicación TCP/IP para el control de una intersección de tráfico vehicular. *Ingeniería, investigación y tecnología- SCIELO*, 583-594.

Martínez Anoroza, M. (s.f.). Semáforos Inteligentes. Asunción, Paraguay.

Microsoft. (2017). *Introducción a Visual C# y Visual Basic*. Recuperado el 20 de 2 de 2017, de [Docs.microsoft.com: https://docs.microsoft.com/es-es/visualstudio/ide/getting-started-with-visual-csharp-and-visual-basic](https://docs.microsoft.com/es-es/visualstudio/ide/getting-started-with-visual-csharp-and-visual-basic)

nanotron. (27 de 10 de 2004). *swarm API*. Berlin, Berlin, Alemania: Nanotron Technologies GmbH.

*Nanotron Technologies*. (s.f.). Recuperado el 08 de 08 de 2016, de <http://nanotron.com/EN/index.php>

Ponsoda, D. (2008). *Introducción a SQLite*. Alicante, España.

Pressman, R. S. (2010). *INGENIERIA DEL SOFTWARE UN ENFOQUE PRACTICO*. McGraw-Hill.

Salcedo, O., Hernández, C. A., & Pedraza, L. F. (2006). Modelo de Semaforización Inteligente para la Ciudad de Bogotá. *REVISTA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS*, 61-69 .

Sqlite. (2016). *sqlite docs*. Recuperado el 2016 de 10 de 05, de [sqlite: https://www.sqlite.org/docs.html](https://www.sqlite.org/docs.html)

Sweeney, P. J. (2005). *RFID For Dummies*. Wiley.

Tarifa, E. (s.f.). *Teoría de Modelos y Simulación*. Recuperado el 20 de 07 de 2016, de [http://www.econ.unicen.edu.ar/attachments/1051\\_TecnicasIISimulacion.pdf](http://www.econ.unicen.edu.ar/attachments/1051_TecnicasIISimulacion.pdf)

Thornton, F., Haines, B., & Das, A. (2006). *RFID Security*. Syngress.