

# Plataforma para Gestión de la Red de Semáforos de Zonas Urbanas

**JUAN A GUERRERO-IBAÑEZ**  
Facultad de Telemática, Universidad de Colima  
Colima, Colima 280140, México

**PEDRO DAMIÁN-REYES**  
Facultad de Telemática, Universidad de Colima  
Colima, Colima 280140, México

**CARLOS A FLORES-CORTES**  
Facultad de Telemática, Universidad de Colima  
Colima, Colima 280140, México

y

**PAUL LLAMAS-VIRGEN**  
Departamento-universidad, nombre-Universidad  
Ciudad, Estado Código-Postal/Zona, País

## RESUMEN

En nuestros días, el número de vehículos circulando y la necesidad de desplazamiento de la gente en las zonas urbanas crece a ritmos acelerados. Las avenidas de las ciudades ya no son suficientes. Como consecuencia, la sociedad moderna enfrenta serios problemas de congestión vial, gastos excesivos de combustible y un gran incremento en los niveles de contaminación de CO<sub>2</sub>. En este sentido, los controladores de semáforos se están convirtiendo en una parte importante de los sistemas de control de tránsito urbano. En este artículo proponemos un sistema para gestionar los controladores de semáforos de zonas urbanas. El sistema está basado en servicios web para la comunicación con los diferentes controladores de semáforos localizados en cada una de las intersecciones de una avenida y la tecnología de radiofrecuencia RFID (*Radio Frequency IDentification*) para la monitorización y recolección de datos de la demanda vial en cada intersección. Los resultados obtenidos mediante simulaciones muestran una reducción en la duración promedio de trayecto, el tiempo promedio de espera, los tamaños de colas por intersección, así como un incremento en la velocidad promedio de recorrido.

**Palabras Claves:** Congestionamiento vial, Intersección, RFID, Semáforos, Servicios web, Tráfico vehicular.

## 1. INTRODUCCIÓN

El congestionamiento vial en zonas urbanas es un problema que se ha incrementado en los últimos años en la mayoría de las ciudades del mundo. Este problema tiene un fuerte impacto económico, ambiental y de seguridad. Por ejemplo, en Estados Unidos se estimó que casi costaría \$90bn por año en el 2009 [1], y a la Unión Europea le costaría el 1% de su crecimiento del producto doméstico (GDP – por sus siglas en inglés *Gross Domestic Product*) para el 2010 [2]. Por otro lado, el reporte

técnico de la Agencia Europea del Medio Ambiente reveló que en el 2004 el transporte terrestre generó el 26% de las emisiones de gas de efecto invernadero [3]. Además, según la Comisión para la seguridad global de las carreteras, las muertes por accidentes viales son de al menos 1.3 millones de personas por año y 50 millones de lesionados [4].

Estos datos incrementan la necesidad de sistemas de control vial más eficientes. Sin embargo, los problemas de congestión vial no pueden resolverse creando nuevos ejes viales o extendiendo los ya existentes; pues esto ocasiona altos costos económicos aunados a las limitaciones geográficas y ambientales. Se necesita incrementar los esfuerzos para satisfacer las demandas viales. Para alcanzar esta meta, es indispensable mejorar el rendimiento de los controladores de semáforos a fin de optimizar la capacidad existente de las avenidas de las zonas urbanas.

En los últimos años, la ciudad de Colima, en México está sufriendo grandes problemas de congestión vial. Este problema se debe principalmente al incremento de vehículos en la ciudad y a la tecnología obsoleta implementada en los controladores de semáforos ubicados en las diferentes intersecciones. Sin embargo, para optimizar los sistemas de control de semáforos actuales, que están basados en modelos de tiempos fijos, es necesario generar nuevos mecanismos que permitan recopilar la demanda de tránsito vehicular de las diferentes intersecciones y migrar hacia esquemas de control de semáforos dinámicos que se adapten a las condiciones cambiantes de las demandas de tránsito durante las diferentes horas del día.

Una de las soluciones para este problema está enfocada al diseño de controladores de semáforos adaptables, que les permitan reaccionar a las demandas de tránsito y seleccionen las mejores acciones que permitan agilizar el flujo vehicular en la intersección. No obstante, para diseñar sistemas controladores de semáforos dinámicos es necesario identificar un conjunto de parámetros que representen las condiciones de

la intersección. Uno de los grandes retos es la selección del mecanismo que nos permita recolectar la información de las condiciones de tráfico de la intersección, los cuales comúnmente están basados en sensores [5].

El presente proyecto propone un sistema para la gestión de la red de semáforos de zonas urbanas basado en servicios web y RFID. El control del sistema define un conjunto de perfiles de configuración, los cuales van adaptándose dinámicamente de acuerdo a la demanda de tráfico de cada intersección con el objetivo de reducir los problemas de tránsito vehicular que enfrenta la sociedad colimense. Este trabajo es parte de un proyecto de la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima.

El documento está organizado de la siguiente forma: en la sección 2 presentamos una breve reseña de los trabajos relacionados publicados en la literatura. La descripción del sistema de gestión se presenta en la sección 3. Una serie de resultados preliminares de desempeño del sistema se describen en la sección 4. Finalmente, en la sección 5 presentan las conclusiones del trabajo.

## 2. TRABAJO RELACIONADO

La gestión del tránsito vehicular es una tarea compleja. Dentro de las diferentes líneas de investigación se han propuesto varias soluciones para resolver los problemas de congestión vial. Las soluciones se han enfocado en diferentes áreas que van desde la gestión de los controladores de semáforos hasta sistemas para monitorización de tránsito vial. La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA – por sus siglas en inglés *National Electrical Manufacturers Association*) define dos categorías de controladores de semáforos: controladores basados en tiempos fijos y controladores basados en tiempos dinámicos [6]. Los controladores de tiempo fijo consideran un tiempo definido para diferentes horas del día. Estos controladores son configurados con una duración y secuencia de las fases fijas, con lo cual los ciclos son constantes. El sistema más conocido para este tipo de controladores es TRANSYT [7]. Por otro lado, los controladores dinámicos pueden variar la duración y secuencia de sus fases dependiendo de la demanda vial del entorno. Algunos ejemplos de sistemas de control basados en controladores dinámicos son SCOOT (*Split Cycle Offset Optimisation Technique*) [8], OPAC (*Optimized Policies for Adaptive Control*) [9] y los más recientes están enfocados al uso de computadoras para mejorar el uso de las redes de semáforos de las zonas urbanas [10]-[12]. Finalmente, con respecto a los sistemas para monitorización de condiciones de tránsito vial, algunas propuestas están basadas en el uso de cámaras con reconocimiento de imágenes, detectores inductivos, y sensores [13].

## 3. ESQUEMA DE GESTIÓN PROPUESTO

El sistema propuesto está compuesto por 5 componentes esenciales: la *arquitectura física*, la *arquitectura lógica*, el *mecanismo de recolección de datos de tráfico*, la *definición de perfiles de configuración* y el *algoritmo de control*. La *arquitectura física* representa los diferentes equipos de control, de monitorización y de comunicaciones que deberían ser implementados en cada intersección. La *arquitectura lógica* que representa las diferentes entidades funcionales y módulos

que mediante software son implementados en los equipos para llevar a cabo el proceso de gestión del tráfico vehicular. La *definición y creación de perfiles de configuración dinámicos* son generados con base en la demanda de tránsito vehicular de cada intersección y proporciona al sistema un cierto nivel de inteligencia mediante el aprendizaje de los perfiles implementados en diferentes situaciones de demanda de tráfico. El *mecanismo de recolección de datos de tráfico* cuya función es recolectar información de las condiciones de tráfico dentro del cruce, y finalmente el *algoritmo de control* que se encarga de tomar las decisiones de configuración adecuada en base a la evaluación de parámetros definidos.

### Arquitectura física

La arquitectura está formada por 3 elementos principales: *el controlador de intersección (CI)*, *el centro de control de tráfico (CCT)* y *el colector de datos de tráfico (CDT)*, los cuales se muestran en la figura 1. El CDT es responsable de recolectar la información sobre las condiciones de tráfico de cada una de las avenidas y sentidos que conforman la intersección. Toda la información recolectada por el CDT es enviada al CI. El CI controla todos los semáforos localizados en la intersección. Este componente, implementado en un sistema empotrado, se encarga de realizar el procesamiento de la información recolectada por el CDT en cada ciclo. Un reporte de la información procesada es enviado directamente al CCT a través de un enlace inalámbrico.

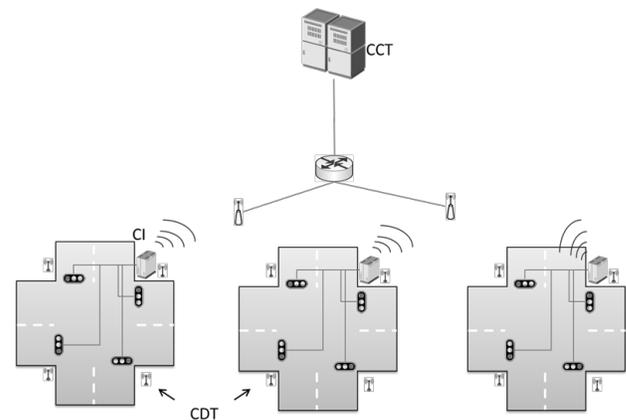


Figura 1.- Arquitectura física del sistema de gestión propuesto.

### Arquitectura lógica

Con el objetivo de realizar una comunicación entre los diferentes componentes de la arquitectura y realizar las tareas de reconfiguración y sincronización dinámicamente de los semáforos de las diferentes intersecciones de un eje vial se desarrolló una aplicación que utiliza un conjunto de protocolos y estándares basados en IP, por lo tanto la comunicación de la aplicación es independiente de la plataforma donde se trabaje, conocidos como servicios web. Un servicio web es un conjunto de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones.

Distintas aplicaciones de software desarrolladas en diferentes lenguajes de programación, y ejecutadas sobre cualquier plataforma, pueden utilizar los servicios web para intercambiar datos en redes de ordenadores como Internet. La interoperabilidad se consigue mediante la adopción de estándares abiertos. Las organizaciones OASIS (*Organization for the Advancement of Structured Information Standards*) [14] y W3C (*World Wide Web Consortium*) [15] son los comités

responsables de la arquitectura y reglamentación de los servicios Web. Para mejorar la interoperabilidad entre distintas implementaciones de servicios Web se ha creado el organismo WS-I (*Web Services Interoperability Organization*)[16], encargado de desarrollar diversos perfiles para definir de manera más exhaustiva estos estándares [17],[18].

La figura 2 muestra los dos componentes principales de la arquitectura lógica: el módulo controlador de cruceo, y el servidor de gestión de tráfico.

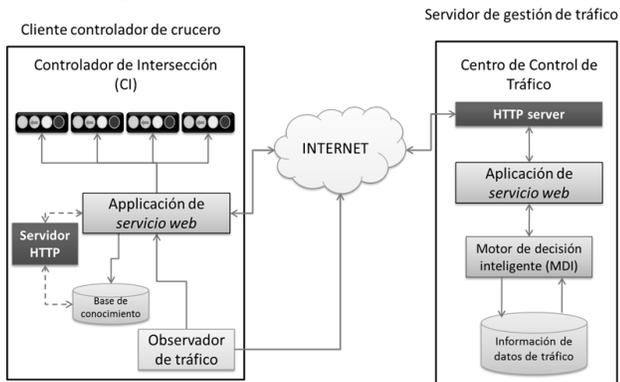


Figura 2.- Representación de la arquitectura lógica del sistema de gestión de tráfico propuesto.

El módulo cliente controlador de cruceo es implementado en cada controlador de intersección (CI) y es responsable de la gestión de cada uno de los semáforos instalados en la intersección que controla. Está formado por una aplicación de servicio web en la plataforma .NET [19], un servidor web, una base de conocimiento y un módulo observador de tráfico, los cuales se describen a continuación:

**Aplicación de servicio web:** es responsable de la implementación de los perfiles de control denominados *Perfiles de Control de Semáforos* (PCS) que permiten la inicialización, monitorización y reconfiguración de los semáforos.

**Servidor HTTP:** es responsable de la comunicación entre la aplicación de servicios web y la base del conocimiento, proporciona la configuración por defecto de acuerdo a lo que va aprendiendo de las configuraciones implementadas para la intersección. Este servidor es usado cuando existe un fallo en el enlace de comunicación con el CCT.

**Base de conocimiento:** almacena información de las decisiones de configuración que se han tomado por parte del CCT de acuerdo a las condiciones de tráfico. La base de conocimiento es utilizada como modelo de configuración cuando no existe una comunicación con el CCT debido, por ejemplo, a fallos en el enlace.

**Observador de tráfico:** es responsable de hacer un procesamiento, en cada ciclo, de los datos recolectados por los diferentes lectores RFID que se encuentran ubicados en las diferentes avenidas que conforman la intersección.

El módulo servidor de gestión de tráfico es el componente que toma las decisiones de configuración de los diferentes controladores de intersección basado en los datos recopilados por los diferentes CI. El servidor de gestión es responsable de los procesos de inicialización, monitorización, análisis, evaluación y toma de decisiones para cada CI. El objetivo

principal es analizar la situación actual de cada cruceo y si es necesario realizar una reconfiguración basada en la aplicación de un nuevo perfil de configuración. Para alcanzar un control de tráfico adecuado, se definen los siguientes elementos:

**Servidor HTTP:** es responsable de controlar la comunicación entre los dos componentes principales. La comunicación se lleva a cabo mediante los servicios web.

**Motor de decisión inteligente:** es el elemento responsable de tomar las decisiones que controlan los diferentes procesos de cada CI. Es el cerebro principal del sistema y las decisiones son valoradas con base en la información recopilada por los diferentes componentes y la aplicación del algoritmo desarrollado.

**Base de datos de información de tráfico:** almacena información de los diferentes perfiles aplicados en cada CI del sistema.

### Perfil de Configuración

Como se mencionó anteriormente, nuestro sistema está basado en la definición de perfiles de configuración para cada intersección. En este caso el sistema define un perfil de configuración, el cual es denominado PCO, para cada CI como la configuración por defecto. Ese perfil se aplica cuando el CI inicializa. Conforme las condiciones de tráfico varían se van generando dinámicamente otros perfiles de configuración. Cada perfil está compuesto por una serie de campos, los cuales se muestran en la figura 3.

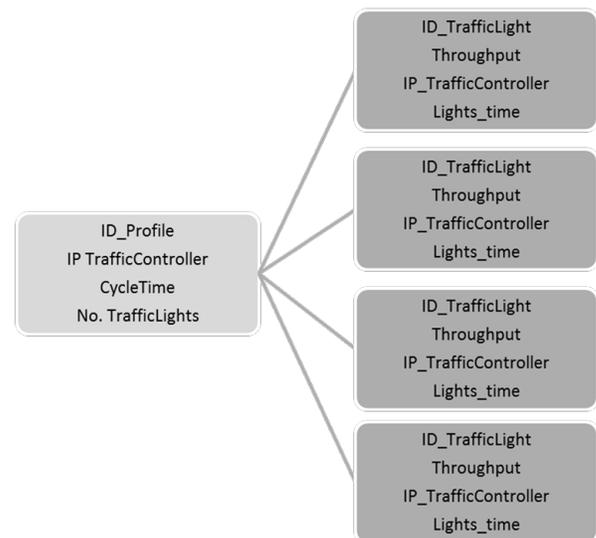


Figura 3.- Representación de la estructura del perfil de configuración.

El *ID\_Profile* representa el identificador del perfil. El *IP\_TrafficController* almacena la dirección IP del CI. *CycleTime* describe el tiempo máximo y mínimo que el ciclo puede tomar para ejecutar todas sus fases. *No\_TrafficLights* expresa el número de semáforos localizados en la intersección. Además se definen una serie de sub-perfiles para cada dirección de la intersección. Cada-sub-perfil contiene información sobre el identificador del semáforo (*ID\_TrafficLight*), el flujo vehicular (*throughput*), la duración de las luces del semáforo (*Lights\_time*), así como el

identificador del controlador al que pertenecen (*IP\_TrafficController*).

### Recolección de datos de tráfico

Uno de los aspectos importantes para el éxito del sistema es la recolección en tiempo real de información de la demanda de tránsito vehicular. En el sistema propuesto, este proceso se realiza mediante el uso de la tecnología RFID. Esta tecnología es propuesta basado en el plan nacional para seguimiento vehicular promovido por el Gobierno Federal [20].

Para el proyecto se propone el despliegue estratégico de lectores para detectar y recolectar información vehicular de cada dirección. Los lectores capturan el tiempo de entrada de cada vehículo cuando pasan sobre su rango de cobertura. Los lectores son clasificados en lectores de entrada y lectores de salida, de acuerdo al lugar donde son colocados (figura 4).

Los lectores ayudan a calcular la longitud de la cola de vehículos en espera en cada dirección. Este valor es calculado de la diferencia entre el número de vehículos que pasan por el lector de entrada y el número de vehículos que pasan por el lector de salida. Además, como cada vehículo cuenta con una tarjeta RFID, se puede calcular la velocidad, el tiempo entre cada vehículo y el número de vehículos atendidos durante cada fase. Como se mencionó anteriormente, ésta información es procesada dentro del CI y un reporte es enviado cada que se termina un ciclo.

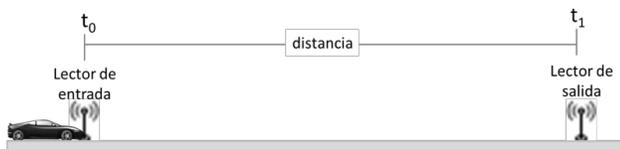


Figura 4.- Representación de colectores de información de tránsito vehicular.

### Algoritmo de control

Como parte esencial de la gestión del tránsito, definimos un algoritmo que está basado en una selección inteligente de los tiempos adecuados para cada intersección. El algoritmo define una serie de umbrales para cada intersección (mínima y máxima duración del ciclo, tamaños de cola para cada dirección). El algoritmo trata de adaptar los tiempos para cada uno de los semáforos sin afectar la duración total del ciclo. Si las condiciones de tráfico no se pueden resolver, entonces se incrementa la duración total del ciclo de la intersección sin violar el máximo tiempo de ciclo definido para el cruce. El algoritmo evalúa varios parámetros para las decisiones de configuración:

**Vehículos atendidos:** representa el número de vehículos que deben de pasar en cada dirección de acuerdo al tiempo definido para la luz verde.

**Tiempo entre vehículos:** representa el tiempo promedio entre un vehículo y otro que el lector RFID detecta.

**Frecuencia de ocurrencia:** Este parámetro define el máximo número de ocurrencias de un problema de congestión para disparar el proceso de reconfiguración.

**Umbral de duración de ciclo:** que define el tiempo mínimo y máximo que debe de durar el ciclo para la intersección.

El algoritmo evalúa estos parámetros y decide la modificación de tiempo adecuada para cada semáforo de la intersección.

## 4. RESULTADOS PRELIMINARES

Para examinar el comportamiento de nuestro sistema, primero comparamos nuestro mecanismo de control con el método actual implementado en los diferentes cruces, el cual está basado en tiempos fijos. Para llevar a cabo el comparativo, se realizaron una serie de simulaciones a través de el simulador de eventos discretos Netlogo [21]. Después de evaluar nuestro sistema presentamos los resultados preliminares de la plataforma desarrollada.

### Descripción del escenario

Para la evaluación del sistema se definió un escenario como el que se muestra en la figura 5. El escenario utilizado está formado por una avenida principal de doble sentido cada uno de los cuales tiene 3 carriles que permiten la circulación directa y las vueltas hacia la izquierda y derecha. Se definieron tres intersecciones distribuidas a 0.5Km de distancia. Las avenidas secundarias, la cuales cruzan la avenida principal, son de doble sentido y están formada por un solo carril. Los vehículos son generados mediante una distribución de Poisson para simular la demanda de tráfico de la ciudad. se realizaron 50 simulaciones con un tiempo de simulación de 1 hora cada uno. El porcentaje de tráfico se generó con un 80% dentro de la avenida principal y el resto en las avenidas secundarias. La distribución del tráfico en la avenida principal era de 40% en dirección este-oeste y el resto en dirección oeste-este. Para las avenidas principales se consideró una distribución de tráfico equitativa. La probabilidad de vuelta hacia la izquierda era de 20% y hacia la derecha del 15%. Estos datos se tomaron de un estudio previo de mediciones de demanda vehicular en diferentes cruces de la ciudad [22]. Los parámetros que se midieron fueron el tiempo de espera promedio de vehículos, la duración promedio del trayecto, la velocidad promedio de conducción y el tamaño de colas por intersección.

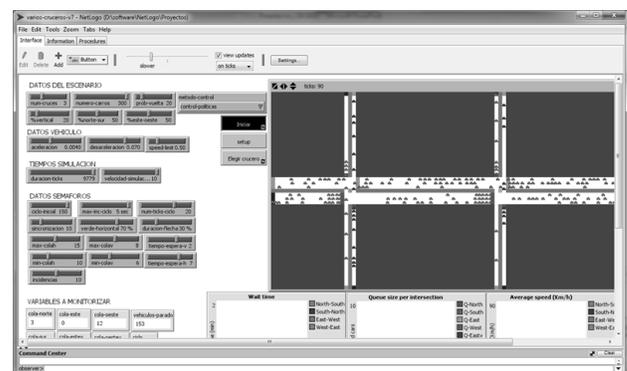


Figura 5.- Representación del escenario dentro del software de simulación Netlogo.

### Resultados obtenidos

A continuación se presentan los resultados obtenidos por cada uno de los esquemas evaluados en el escenario de simulación. La figura 6 muestra los resultados del tiempo de espera promedio obtenido por los dos mecanismos evaluados. Como se puede observar en la gráfica, cuando se aplica el mecanismo actual en el escenario evaluado, el tiempo promedio de espera de los vehículos alcanza tiempos de hasta 97 segundos, mientras que con el sistema propuesto se reduce el tiempo de

espera promedio en un 40%, alcanzando tiempos promedios de espera de 57 segundos.

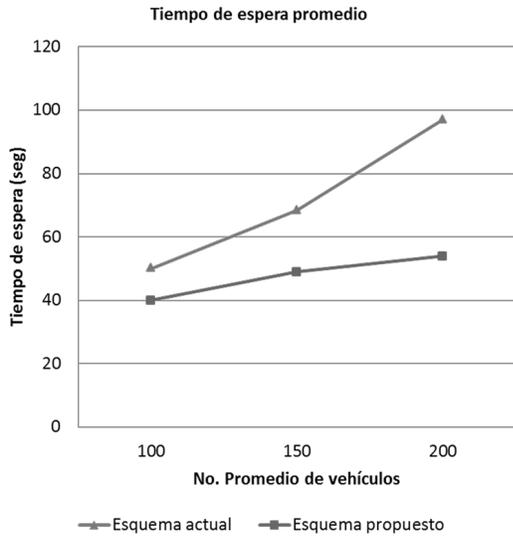


Figura 6.- Tiempo de espera promedio para cada uno de los esquemas evaluados.

La figura 7 muestra los resultados obtenidos para la velocidad de circulación promedio. La figura muestra que para el caso en donde el modelo actual es aplicado, conforme el número de vehículos se incrementa, la velocidad promedio de los vehículos se decrementó un 45% en relación a la tasa de tráfico alta. Cabe hacer mención que los resultados de la simulación arrojaron que el 16 por ciento del tiempo de simulación los automóviles estuvieron a una velocidad promedio de 0 km, esto representa que durante todo ese tiempo los autos permanecen detenidos aunque no exista flujo en las otras direcciones debido al tiempo fijo de la duración de las luces de los semáforos. Sin embargo, la figura muestra que cuando se aplica el mecanismo propuesto, la velocidad de circulación promedio alcanza un incremento en la velocidad del 9% en situaciones de tráfico bajo y una mejora del 50% en situaciones de tráfico alto.

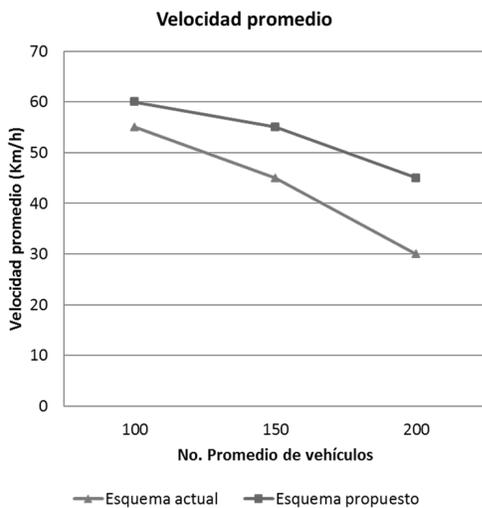


Figura 7.- Velocidad promedio durante el trayecto para cada uno de los esquemas evaluados.

La figura 8 muestra los resultados obtenidos para el tiempo de viaje promedio. Los resultados muestran que en situaciones de bajo tráfico se presenta una reducción de casi el 12% el tiempo de viaje cuando se aplica el mecanismo propuesto en comparación del esquema actual. Por otro lado, cuando las condiciones de demanda de tráfico se incrementa, nuestro esquema reduce el tiempo de viaje casi un 30% en comparación con el esquema actual.

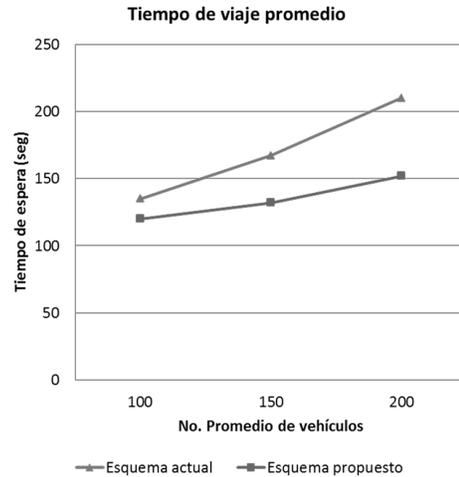


Figura 8.- Tiempo de viaje promedio para cada uno de los esquemas evaluados.

La figura 9 nos muestra los resultados obtenidos por cada uno de los esquemas evaluados con respecto al tamaño de cola promedio. Cuando la carga de tráfico es baja, el esquema propuesto reduce el tamaño de cola casi un 34% con respecto al esquema actual. Por otro lado, cuando la demanda de tráfico se incrementa, los tamaños de cola se reducen un 42% con respecto al esquema actual cuando nuestro sistema propuesto es aplicado.

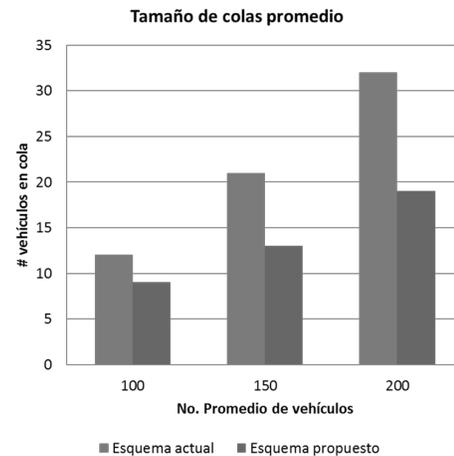


Figura 9.- Tamaño de cola promedio para cada uno de los esquemas evaluados.

Como parte del proyecto, se desarrolló el software para la gestión del sistema de semáforos. La figura 10 muestra la aplicación del servidor de gestión de tráfico, el cual, dependiendo de las capturas que recibe de los lectores, toma la decisión acerca de la configuración adecuada para cada intersección. En este módulo se implementa el algoritmo de control. El software controlador o servidor, es el que se encarga

de realizar los cálculos para la toma de decisiones, de acuerdo con los datos recibidos del proceso de monitorización, para tratar de reducir así el tiempo de espera de los vehículos en un cruce.

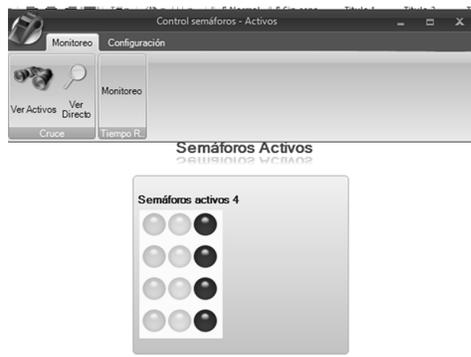


Figura 10.- Software del servidor de gestión de tráfico.

El software de servidor permite agregar los diferentes cruces en el sistema, así como la definición de los diferentes semáforos implementados dentro del cruce. En la figura 10, se puede observar que se han dado de alta cuatro semáforos. El software permite la monitorización de los semáforos de una intersección así como también obtener los datos de tráfico del cruce en tiempo real.

La figura 11 presenta la pantalla que corresponde al software cliente, se han especificado los valores de la duración de las luces de señalización (verde y rojo) de los semáforos que tenemos en un cruce, en este caso para efectos de la emulación se especifican cuatro semáforos correspondientes a la figura anterior, éstos están comunicados entre sí para la correcta sincronización, así mismo, al recibir la señal directa del controlador cambian su estado en el siguiente ciclo.



Figura 11.- Software del controlador de cruce.

Como parte complementaria, se ha desarrollado una maqueta prototipo, utilizando diversos dispositivos electrónicos, el cual simula un cruce con varios semáforos, estos dispositivos se conectan a un lector RFID para muestrear la información con respecto a la cola de tráfico que se encuentra en un carril en particular, estos están conectados a un controlador de cruce que es un sistema embebido central y este a su vez comunicado por servicios web a un dispositivo aún más robusto o Centro de Control de Tráfico que tiene embebido comunicación Ethernet tanto alámbrica como inalámbrica para así, poder monitorizar el comportamiento del tránsito vehicular de manera remota.

Las imágenes de la figura 12 muestran cada uno de los conceptos descritos pasando de la infraestructura lógica a la física implementado lo conceptos de CI y CDT. La figura 12(a) nos muestra parte del componente controlador de intersección (CI) cuya función principal es la interacción con

los semáforos del cruce. La figura 12(b) muestra el sistema empujado del CI responsable de procesar toda la información recolectada por los CDT y la comunicación directa con el CCT. Por último, la figura 12(c) nos muestra la emulación del colector de datos de tráfico con el lector RFID y la comunicación directa con el sistema empujado para el reporte de datos de la demanda de tráfico en cada una de las avenidas del cruce.

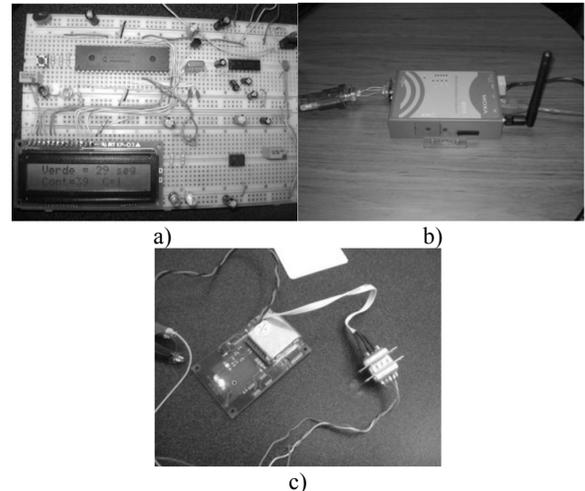


Figura 12.- Componentes del prototipo desarrollado.: a) Controlador de intersección (CI), b) Controlador de datos de tráfico (CDT), y c) Sistema empujado del CI.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una aplicación para control inteligente de los controladores de semáforos de una zona urbana basado en tecnologías RFID y servicios web.

La aplicación permite recolectar información de las condiciones de tráfico vehicular de las diferentes intersecciones de un eje vial urbano y tomar las decisiones para reconfigurar dinámicamente los semáforos ubicados en los diferentes cruces viales.

El sistema de monitorización proporciona información invaluable a investigadores y diseñadores de sistemas de tráfico. Los resultados obtenidos mediante simulaciones demuestran que el sistema puede mejorar el sistema de transporte ayudando a reducir los sistemas de congestión y facilita la gestión de los sistemas de tráfico de la zona urbana.

El trabajo futuro está enfocado en el desarrollo de un mecanismo colaborativo que permita la sincronización explícita a través de un sistema de semáforos progresivo. Además se planea extender la plataforma de servicios web para proporcionar un sistema más seguro y robusto.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Fondo Ramón Álvarez Buylia por el apoyo financiero proporcionado para el desarrollo de este proyecto.

## 7. REFERENCIAS

[1] Lomax, T., & Schrank, D., **Urban Mobility Study**. Texas: Texas Transportation Institute, 2005.

- [2] European Environmental Agency. **Technical Report 9: Urban Sprawl in Europe - the ignored challenge**. Copenhagen: European Environmental Agency, 2006.
- [3] European Environmental Agency. **Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2006**. Copenhagen, 2006.
- [4] Commission for Global Road Safety, **Technical Report: Make roads safe, a decade of action for road safety**, 2009.
- [5] A. Albagul, M. Hrairi, Wahyudi, and M.F. Hidayathullah, "Design and Development of Sensor Based Traffic Light System", **American Journal of Applied Science**, vol 3, no. 3, pp. 1745 – 1749, 2006.
- [6] National Electrical Manufacturers Association. **NEMA Standards Publication TS 2-2003 v202.06 – Traffic Controller Assemblies with NTCIP requirements**, 2003.
- [7] UK's Transport Research Laboratory, **TRANSYT Software**, <http://www.trlsoftware.co.uk/>, 2010.
- [8] SCOOT Website, **Split Cycle Offset Optimisation Technique**, <http://www.scoot-utc.com>, 2010.
- [9] Ken Winter, **Adaptive Signal Control Gradually Emerging As a New Way to Decrease Costs Associated With Delays, Stops and Fuel Consumption**, Research Synthesis Bibliography No. 14, October 2007.
- [10] D. Helbing, S. Lämmer, and J. Lebacque, **Self-organized control of irregular or perturbed network traffic**, Optimal Control and Dynamic Games Application in finance, management Science and economics, pp. 239-274, Springer, 2005.
- [11] C. Gershenson, **Design and Control of Self-organizing systems**, PhD thesis, Vrije Universiteit Brussel, 2007.
- [12] A.L. Bazzan, "A distributed approach for coordination of traffic signal agents", **Autonomous Agents and Multi-agent systems**, vol. 10, No. 2, pp. 131-164, 2005.
- [13] Lee, U.; Gerla, M., "A Survey of Urban vehicular sensing platforms". **Computer Networks**, p.p 1-18, 2009.
- [14] OASIS Website, <http://www.oasis-open.org>.
- [15] W3C Website, <http://www.w3.org>.
- [16] WS-I Website, <http://www.ws-i.org>, 2010.
- [17] Nakka, Raja Sanjeev Kumar. **Performance evaluation of J2EE & .NET web services interacting with a .NET client**. Acharya Nagarjuna : All K-State Electronic Theses, Dissertations, and Reports, 2009.
- [18] Hanson, J. Jeffrey. **Web Services Architect. .NET versus J2EE Web Services**. [online] 9 de 01 de 2002. [Cited: September 2009].
- [19] Microsoft website, **Microsoft .NET Framework**, 2006.
- [20] Calderón Hinojosa, F., "Regulations of the law of vehicular public registry (in Spanish)", **Federation Official Journal**, December 2007.
- [21] Netlogo website, **Netlogo simulator**, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- [22] Grupo de Investigación GIGENET, **Análisis de demanda de tráfico vehicular en la zona norte de la ciudad de Colima**, Reporte técnico interno Universidad de Colima, 2009