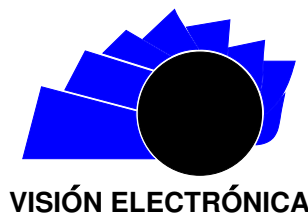




Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/index>



VISIÓN INVESTIGADORA

Prototipo de un controlador de tráfico para una intersección semaforizada

Prototype of a traffic controller for a signalized intersection

Oswaldo A. Romero V.¹, Julio Barón V.², Helbert E. Espitia C.³

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: Febrero de 2015

Recibido: Febrero de 2015

Aceptado: Marzo de 2015

Palabras clave:

Controlador

Flujo vehicular

Software

Transporte

RESUMEN

El crecimiento urbano y la necesidad humana por transportarse ágilmente entre los diferentes sitios de una ciudad, han hecho imprescindible la regulación de los sistemas de tráfico. En consecuencia, el presente documento exhibe los resultados de la investigación que condujo al diseño de un sistema embebido para el control y supervisión de tráfico vehicular, a través de adquisición de datos y una red de comunicaciones; es decir: permite el almacenamiento y adaptación de planes de señales, así como la transmisión de datos por redes que pueden ser WLAN, LAN o redes celulares para tratar la información correspondiente a conteos vehiculares, detección de vehículos con paso restringido, supervisión de parámetros de tráfico, y comandos de control de tráfico. Las pruebas del prototipo que implementa la lógica requerida de la intersección semaforizada se realizan en la ciudad de Bogotá D.C. (Colombia).

ABSTRACT

Urban growth and the human need for to nimbly transported between sites of a city, have made essential the regulating traffic systems. This document shows the results of the investigation leading to the design and implementation of an embedded control system to vehicular traffic monitoring through data acquisition and communications networks, i.e.: allows storage and adaptation of signals as well as data transmission through networks that can be WLAN, LAN or networks cellulars, to treat information corresponding to: vehicle counts, vehicle detection with restricted passage, monitoring traffic parameters and traffic control commands. The prototype test implemented in the signalized intersection to control traffic flow, taked place in Bogota (Colombia).



Keywords:

Controller

Traffic flow

Software

Transport

¹Ingeniero de Sistemas, magíster en Ingeniería Industrial, docente de la Universidad Distrital. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: oromerov@udistrital.edu.co.

²Ingeniero de sistemas, especialista en Ingeniería de Software, magíster en Teleinformática, docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: jbaron@udistrital.edu.co

³Ingeniero electrónico, ingeniero mecatrónico, especialista en Telecomunicaciones Móviles, magíster en Ingeniería Industrial, magíster en Ingeniería Mecánica, docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: heespitiac@udistrital.edu.co

1. Introducción

La movilidad en las grandes urbes se ha convertido en un asunto sensible, ya que resulta imprescindible su mejoramiento para una normal cotidianidad humana, ante la creciente necesidad de la población por desplazarse de un lugar a otro en el menor tiempo posible y en medio del ritmo frenético y los acelerados cambios que impone la industria, el comercio, la educación y el acceso a los servicios, es difícil encontrar un habitante de una ciudad que no necesite desplazarse entre dos puntos de la misma para participar en la producción o en el consumo de bienes y servicios; las relaciones sociales, las actividades recreativas, religiosas o educativas, por solo citar algunas, no serían posibles sin desplazamientos en el espacio urbano. Si se observa la forma de los asentamientos urbanos, la distribución de las diversas zonas no es uniforme y, además, por diversas razones, la localización de las zonas industriales, comerciales, de servicios, de gobierno y las residenciales, ha recibido poca atención para adecuarlas eficientemente. Por tanto, el crecimiento acelerado de las ciudades y la necesidad de transportarse entre los diferentes sitios donde se prestan diversos servicios, ha hecho imprescindible la regulación de los sistemas de tráfico urbano, por lo que el estudio de este tipo de sistemas ha adquirido cada vez mayor importancia [1].

En cuanto a las ciudades latinoamericanas, la discusión sobre la movilidad tiene como uno de sus ejes los Sistemas Integrados de Transporte (SIT); para el caso de Bogotá D.C. está, y estará, compuesto también por ciclo rutas, tren de cercanías, metro y Transmilenio. Este último, un sistema de buses articulados con vías exclusivas, paraderos y recaudo centralizado. Contando con que el crecimiento urbano acelerado hace más complejo el sistema, se han incrementado las demoras, así como los problemas ambientales [2].

De otro lado, el funcionamiento de los servicios está altamente ligado a la incorporación y uso de las tecnologías en las actividades humanas; en particular la automatización y las telecomunicaciones han cambiado la percepción del mundo. Por ende, la movilidad urbana ha tenido cambios esenciales en los últimos años con la utilización de los avances en las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC).

En el anterior sentido, uno de los propósitos de los sistemas de control de tráfico consiste en obtener información del uso de las vías y determinar, entonces, las circunstancias de seguridad de los usuarios, así como la necesidad de expansión o mantenimiento de las mismas de acuerdo al volumen de tránsito. En este tipo de sistemas se tienen una buena cantidad de variables a considerar. Según [3], actualmente las soluciones

informáticas a los problemas de tránsito vehicular se encuentran en un estado de inmadurez tal que no operan con total autonomía en el área de regulación de tráfico vehicular.

Por lo tanto, para el diseño e implementación de controladores de tráfico, se han empleado diversas técnicas, entre ellas la lógica difusa. En [4] se puede apreciar uno de tales desarrollos donde se justifica su implementación debido a la obsolescencia tecnológica.

De otra parte, en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas se han hecho algunos esfuerzos en la investigación del tema del control del tráfico vehicular, resaltándose los trabajos realizados en [5] y [6].

Es así que la semaforización aparece por la necesidad de prestar seguridad y agilidad en el tráfico de las intersecciones y la implementación de un regulador de tráfico aseguraría el manejo de la movilidad a nivel de intersecciones con volúmenes significativos de tráfico. Igualmente, también permite tener acceso a coordinaciones y manejo de corredores viales para posibilitar la disminución de tiempos de desplazamiento dentro de una localidad.

En consecuencia, el trabajo presentado en este documento exhibe la investigación que condujo al diseño e implementación de un prototipo de un sistema embebido flexible, basado en el modelo de control de tráfico existente, el cual funciona como una herramienta de comunicación bidireccional entre los usuarios de una vía urbana y los ingenieros de planeamiento urbano. Este prototipo permite adquirir, adecuar y transmitir la información de las diferentes señales de dispositivos instalados en la vía, a un sistema de información cualquiera sin ligar el funcionamiento a una única alternativa de comunicación, haciendo al sistema más versátil en su funcionalidad. El artículo se estructura así: en el apartado 2 se describen los controladores de tráfico; en el 3, se definen las fases para un modelo de diseño en prototipos de controladores de tráfico para intersecciones semaforizadas; en el 4 los materiales y métodos para implementar el prototipo; seguidamente las pruebas y resultados; y finalmente las conclusiones.

2. Controladores de tráfico

Los controladores de tráfico son equipos electrónicos ubicados en una intersección o cruce vial que ayuda a la organización de la circulación vehicular y peatonal alrededor de una zona de obras viales, avalando la seguridad de los equipos involucrados y del público de la zona vial. En la Figura 1 se puede apreciar el entorno de un cruce semaforizado en la ciudad de Bogotá D.C.

Figura 1: Entorno de un cruce semaforizado en la ciudad de Bogotá D.C.



Fuente: elaboración propia, en marco de los convenios entre UD-SDM.

Un ejemplo de controlador de tráfico se puede apreciar en la Figura 2. Consiste en un equipo de control de tráfico Siemens MR de quinta generación, desarrollado especialmente para América Latina y lejano Oriente que data de mediados de la década del 90 (1995). Este equipo es digital, como unidad central de procesos tiene un microcontrolador, contiene un archivo de eventos conocido como LOGBOOK y la programación se hace por medio de una terminal computarizada directamente sobre el equipo [7].

La conexión en grupo y la coordinación con la central de tráfico permite el manejo de olas verdes. También permite el manejo de hasta 8 planes estáticos alimentados en la memoria, con un ciclo máximo de 255 segundos, gobernados por un reloj interno que puede ser sincronizado a través de un pulso enviado por la central. Finalmente, este controlador permite el monitoreo de interconexión con la central de control, verificando la seguridad de rojos y verdes conflictivos [7].

Figura 2: Controlador de tráfico siemens MR y SIEMENS C800V



Fuente: elaboración propia, en marco de los convenios entre UD-SDM

3. Metodología

Considerando la complejidad que tiene el desarrollo de un prototipo de controlador flexible para una intersección semaforizada, se establecen las siguientes fases:

3.1. Reconocimiento del sistema de control de tráfico

Para establecer las necesidades de la ciudad de Bogotá D.C, en el tema de control inteligente de tráfico, es necesario tener una visión general del estado actual de la red semaforica.

3.2. Revisión de normatividad

La revisión de la normatividad existente permite cumplir con las exigencias de las autoridades reguladoras del tema de tránsito y transporte, así como las especificaciones tecnológicas consecuentes. Esta reglamentación está ligada a las características básicas del sistema.

3.3. Reconocimiento del controlador de tráfico existente

En esta etapa se realiza un estudio del sistema existente con el fin de conocer sus fortalezas y analizar la arquitectura frente a las necesidades de la ciudad.

3.4. Diseño del software

Considerando los requerimientos del sistema se diseñan las estrategias de control para regular los métodos de coordinación y ejecución de los planes de señales; el control y monitoreo de todas las variables capturadas por los dispositivos del equipo. Igualmente se diseña la interconexión con la central y el manejo de la información en general.

3.4.1. Metodología para el desarrollo del software

La metodología empleada para el desarrollo del software está basada en flujos de trabajo y fases definidas en Open UP. En una primera instancia se establecen los conceptos teóricos generales: características, formas y clasificación de los escenarios de semaforización. En segundo lugar, se abordan los conceptos directamente relacionados con el problema, presentando su definición y describiendo la forma de utilización en el diseño y desarrollo del prototipo. En tercer lugar, se establecen los requerimientos más relevantes que debe incluir la solución tanto a nivel funcional como no funcional; estos requisitos se obtienen por medio de entrevistas a expertos y mediante el análisis de herramientas comerciales en

ambientes propietarios, orientadas a la configuración, gestión y operación de módulos o subsistemas de semaforización.

Terminada la etapa de ingeniería de requerimientos del primer hito, se realizó el análisis y diseño, así como el ordenamiento y clasificación de los requerimientos de acuerdo a su importancia y relevancia, con el fin de establecer prioridades al abordar la solución. A partir de la etapa de elaboración y haciendo énfasis en el análisis, se adoptó el paradigma de orientación a objetos, razón por la cual se utilizó el lenguaje de modelado UML, facilita tanto la comunicación entre los distintos participantes del equipo de trabajo como la gestión de los artefactos producidos mediante aplicaciones software, reduciéndose así la escritura de código.

Teniendo en cuenta los requerimientos no funcionales, se seleccionó la arquitectura cliente-servidor mediante acceso remoto, para lo cual se realizaron inicialmente pruebas mediante el patrón MVC el cual es la base de la arquitectura del sistema.

En la fase de diseño se refinaron las abstracciones planteadas a nivel de análisis, y se especificaron los algoritmos y elementos de interacción. La solución se desarrolla de manera iterativa incremental en tres módulos principales:

- El que define la especificación de comunicación entre el dispositivo electrónico y la tarjeta lógica para el direccionamiento y que permite identificar los sensores y los actuadores. Para esto se desarrolla una interfaz de comunicaciones entre la tarjeta lógica, las tarjetas de sensores y las tarjetas de actuadores. Para verificar el funcionamiento se enviaron mensajes en el respectivo formato del protocolo utilizado revisando el desempeño mediante un “sniffer”.
- El de comunicación entre la tarjeta lógica y la computadora industrial, a través del diseño de un componente de interfaz con capacidades de integración de protocolos como: OCIT, BEFA, SNMP, NTCIP, entre otros. La verificación se realizó mediante un protocolo desarrollado para validar las funcionalidades.
- En el tercer módulo se implementan los algoritmos de control de tráfico, incluyendo la programación de tiempos, actuación, sensórica y algoritmos para el control de tráfico aplicado a una intersección semafórica.

Los flujos de trabajo de diseño y desarrollo de la fase de construcción se realizaron utilizando el IDE del programa Eclipse. Las pruebas se realizaron, por funcionalidad, considerando los casos de uso. Para

facilitar a futuro la comprensión y mantenimiento del software, se mejoraron los modelos obtenidos mediante la aplicación de patrones de diseño.

3.4.2. Herramientas para el desarrollo del software

En el diseño de los sistemas embebidos generalmente es necesario el uso de un computador que ofrezca las herramientas de hardware y software convenientes.

De esta forma, se busca una plataforma acondicionada para la creación, compilación y prueba de los programas o componentes de software que se requieran incorporar al sistema.

Para realizar las aplicaciones se usan herramientas denominadas: plataformas cruzadas de desarrollo (Cross-Platforms Development Tools, por sus siglas en inglés), las cuales cuentan con compiladores, sistemas de enlace (Linkers), intérpretes, es decir: ambientes de desarrollo integrados. Estas plataformas proporcionan servicios de compilación cruzada que permite la definición y generación de código ejecutable para el sistema embebido en la infraestructura computacional, encargada esta de cumplir funcionalidades a nivel de Host, haciendo que el entorno de desarrollo permanezca separado.

En el caso del desarrollo para una arquitectura tipo PC se puede simplificar el desarrollo del software dado que existen en el mercado varias bibliotecas ya implementadas que se pueden adquirir; sin embargo, se debe tener cuidado ya que se pueden comprometer los requisitos de tiempo real que pueda tener el sistema.

3.5. Validación y ajuste del modelo

En esta fase se implementa el prototipo e igualmente se realizan las pruebas preliminares al sistema, teniendo en cuenta variables como confiabilidad, manejo de corriente, calibración de sensores y bus de comunicaciones interno.

3.6. Pruebas de laboratorio

En esta etapa el equipo es sometido a pruebas de funcionamiento en condiciones de laboratorio: la carga del plan de señales, planes de conexión y desconexión, seguridad de señales y comportamiento con diferentes tecnologías de luminarias.

3.7. Implementación

Finalmente se prepara el equipo para que sea probado por expertos y con opción de instalarse en una intersección que defina la autoridad en movilidad durante

un tiempo acordado, monitoreando el desempeño del mismo.

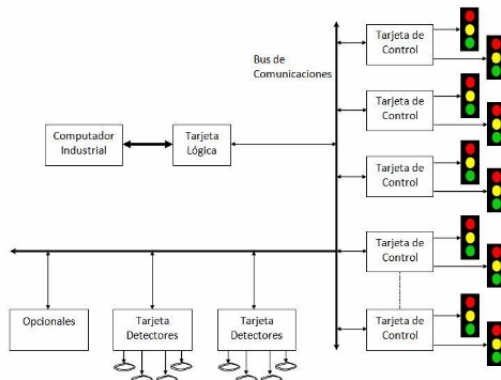
4. Materiales y métodos

Dentro de los materiales y métodos considerados para el desarrollo del controlador de tráfico se tienen: el hardware empleado sobre el cual se implementa el software de la solución, generado mediante el entorno integrado de programación previamente configurado con los utilitarios y bibliotecas requeridas.

4.1. Hardware y componentes

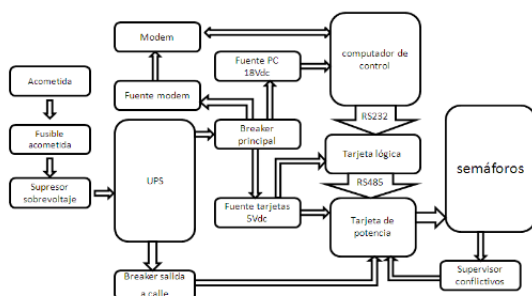
El sistema mecánico y electrónico utilizado está conformado por bloques que representan las funciones implementadas mediante componentes, como se observa en la Figura 3. Los componentes de detección y control intercambian datos que son procesados en primera instancia por la tarjeta lógica y luego por el computador industrial.

Figura 3: Distribución lógica de los dispositivos



Fuente: elaboración propia

Figura 4: Interconectividad lógica entre dispositivos



Fuente: elaboración propia

La comunicación entre módulos se realiza mediante las conexiones del esquema presentado en la Figura 4, incluyendo los elementos de alimentación y protección de energía eléctrica.

Un elemento de hardware importante en el sistema de semaforización consiste en la computadora industrial, sobre la cual se realiza la respectiva programación de los algoritmos y/o acciones de tráfico. Entre estas, se destacan la captura de datos por parte de los sensores y el envío de datos de control a los actuadores ubicados en calle. El núcleo del módulo puede estar conformado por una o más CPU en los siguientes formatos:

- Microprocesador.
- Micro-controlador de 4, 8, 16 o 32 bits.
- DSP de punto fijo o punto flotante.
- Diseño a medida, como los dispositivos FPGA.

En la Figura 5 se visualizan dos posibles modelos de computadoras industriales sobre las cuales se puede realizar la ejecución de la programación realizada.

Figura 5: Modelo de computador industrial que soporta la programación



Fuente: elaboración propia

5. Diseño y desarrollo del sistema

Para el diseño y desarrollo del sistema de control de tráfico, en primer lugar, se determina la arquitectura; posteriormente se establecen y evalúan las especificaciones de control; finalmente se realiza el desarrollo de los módulos de software requeridos para el componente de control de tráfico.

5.1. Arquitectura del sistema

Las características de las intersecciones implican la prestación de funcionalidades de administración y control, realizada a nivel local por el controlador y a nivel remoto desde las centrales.

Estas características de administración y control cuentan con revisión automática de solicitudes y seguridad en las mismas. Considerando lo anterior, las características de funcionamiento son las siguientes:

- Modos de operación
 - Tiempos Fijos (modo local).
 - Modo Semi-actuado.
 - Modo Actuado completamente.
 - Modo Centralizado.
 - Manual.
- Número de grupos
 - Por hardware:
 - 2 por tarjeta de potencia.
 - Determinado por el espacio físico.
 - Tipo de grupos:
 - Vehicular.
 - Peatonal.
 - Flecha de giro.
 - Peatonal dinámico.
 - Semáforos especiales (Transporte masivo).
- Otras operaciones
 - Detección de luminarias: El sistema de monitoreo de cada una de las salidas de potencia permite realizar el conteo de la cantidad de luminarias existentes gracias a lo cual se puede llevar un registro de las luminarias y reporte a la central para mantenimiento.
 - Modo de operación en intermitencia programada: El sistema permite la operación en intermitencia de cualquiera de los colores, esto puede ser usado en situaciones especiales e igualmente para el control de semáforos dinámicos y dedicados.
 - Monitoreo de voltaje a la salida: El sistema monitorea permanentemente el estado de las salidas de potencia (en voltaje) permitiendo detectar cortos o conmutaciones indeseadas garantizando la seguridad en la señalización de la intersección.

5.2. Especificaciones y diseño del software del sistema de control

Las características del software que opera sobre el hardware del sistema son:

- Generales
 - Sistema operativo: MS-WinXP embedded.
 - Programación: archivos de estado en texto plano.
 - Visualización: el estado del equipo se visualiza mediante una GUI la cual se despliega en la pantalla LCD touchscreen de 10,4 pulgadas. Permite ver planes de señales, estado de lámparas, matriz de conflictivos, plan actual en ejecución, registro de eventos segundo a segundo y automático de planes, así como las características de la intersección.
 - Calibración de salidas: el comportamiento de las salidas se visualiza mediante el programa Wave PIC, gracias al cual de manera gráfica y cuantitativa representa el estado de la señal.
 - Prueba del estado del sistema: el sistema puede ser probado mediante el uso del control manual alterando las tarjetas de potencia permitiendo observar de manera controlada las variables del sistema.
- Fases
 - Número de fases: 99 más todo rojo y todo oscuro.
 - Periodo máximo de fase: 0-999 segundos.
 - Tiempo de verde mínimo: 0-999 segundos.
 - Tiempo de verde máximo: 0-999 segundos.
 - Tiempo de amarillo: 3-999 segundos configurable.
 - Transición peatonal verde-rojo: verde intermitente 2Hz para estáticos y aceleración verde amarillo para dinámicos.
 - Ciclo: estándar de un segundo.
- Programas y sincronismo
 - Número de planes: 100.
 - Número de grupos por plan: 99.
 - Temporizador por grupo: 0-999 segundos.
 - Selección de programa por:
 - Día semanal.
 - Fechas especiales.
 - Manual.
 - Sincronismo: reloj interno del PC.

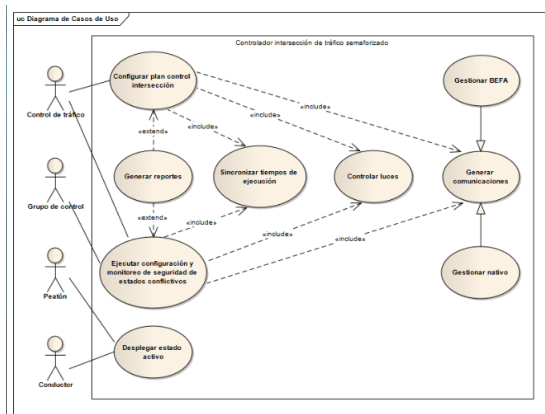
5.2.1. Desarrollo del software de control de tráfico

Entre las principales funcionalidades implementadas en los módulos que conforman el componente de control de tráfico están:

- Configurar control de tráfico, monitorización y consolidación de la información obtenida de los sensores, gestiona las acciones enviadas a los actuadores siguiendo procedimientos configurados para el funcionamiento automático local o ejecutando los planes definidos en forma remota por el grupo de control o la central de tráfico.
- Ejecutar monitoreo y configuración de seguridad de rojos y verdes conflictivos: realizado por la central y el grupo de control.
- Desplegar estado activo: permite enviar información a los peatones y conductores para que se puedan movilizar en forma segura.

Las funcionalidades anteriores y los actores principales que interactúan con el componente se presentan en el diagrama de casos de uso de la Figura 6.

Figura 6: Diagrama de casos de uso del sistema



Fuente: elaboración propia

6. Resultados

El sistema fue probado gracias a la autorización temporal, por parte de la Secretaría Distrital de Movilidad, de la intersección de la Avenida Circunvalar con Avenida Jiménez: que comprende los cruces con la Calle de la Quinta de San Pedro Alejandrino (Avenida Jiménez) y la Avenida del Funicular frente a la entrada de ascenso al cerro de Monserrate, esta intersección se puede apreciar en la Figura 7.

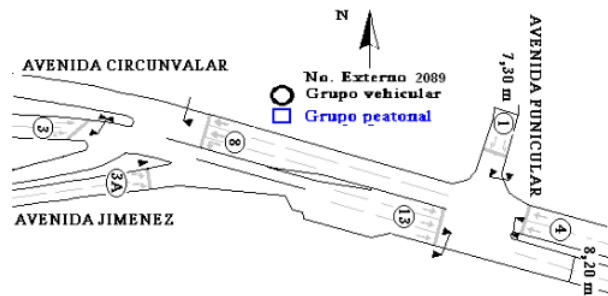
Figura 7: Entorno del sitio de montaje



Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, en la Figura 8 se puede observar la configuración geométrica de la zona de montaje del controlador de tráfico.

Figura 8: Esquema de la configuración geométrica de la zona de montaje



Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad.

Esta intersección se encuentra conformada geoméricamente con los siguientes grupos vehiculares basados en la nomenclatura que la Secretaría Distrital de Movilidad (Figura 8):

- Grupo vehicular 13: corresponde a los vehículos que vienen de oriente a occidente por la avenida circunvalar.
- Grupo vehicular 4: corresponde a los vehículos que vienen de occidente a oriente por la avenida circunvalar.
- Grupo vehicular 1: comprende a los vehículos que de la avenida Funicular (un solo sentido) toman la Avenida Circunvalar hacia el oriente u occidente.
- Grupo vehicular 8: corresponde a los vehículos que van por la Avenida Circunvalar de oriente a occidente y toman la Avenida Jiménez al girar previamente a la izquierda.

- Grupo vehicular 3A: corresponde a los vehículos que vienen por la Avenida Jiménez para tomar la Avenida circunvar hacia el oriente.
- Grupo vehicular 3: corresponde a los vehículos que vienen por la Avenida Circunvar de Occidente a Oriente y que pueden seguir por la misma Avenida o tomar girando a la derecha la Avenida Jiménez hacia el Sur-Occidente (aunque el radio de giro es muy cerrado, no está prohibido).

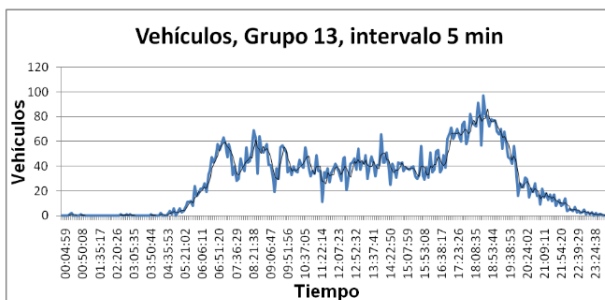
Para la toma de datos se ubicaron varios sensores en la calzada (centrado uno por carril) en los grupos vehiculares 13, 4 y 1. La ubicación de estos está dada de 1.5 a 2.5 metros antes de la línea de vista de la ménsula que sostiene al semáforo vehicular.

El sistema reporta de forma flexible los datos que toman de los sensores (generalmente cada minuto) y se han tomado para la visualización de resultados en un intervalo acumulado de cinco minutos.

En este sitio, la configuración de planes establecida por los ingenieros de planeamiento fue de tipo responsiva, en la cual se elaboran una serie de planes que se aplican en franjas horarias dependiendo de los días de la semana, así un itinerario ordinario comprende los días de lunes a viernes, los días viernes tienen su propio itinerario de planes, así como los sábados y domingos.

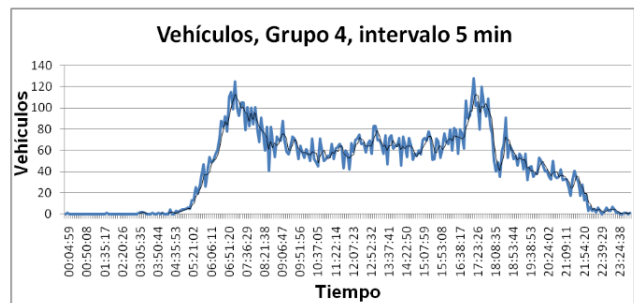
De acuerdo a esta configuración establecida en la intersección, se tomaron datos desde octubre de 2011 hasta marzo de 2012, con el planeamiento elaborado previamente por los ingenieros de la Secretaría Distrital de Movilidad yaleatoriamente fue seleccionada la semana comprendida entre el lunes 8 y el domingo 14 de noviembre de 2011. Teniendo los resultados mostrados en las figuras 9 y 10, solo se muestran los datos tomados para el día lunes, los demás resultados se pueden consultar en [8].

Figura 9: Cantidad de vehículos en grupo 13 cada 5 minutos día lunes



Fuente: elaboración propia.

Figura 10: Cantidad de vehículos en grupo 1 cada cinco minutos día lunes



Fuente: elaboración propia.

7. Conclusiones

Este trabajo presentó el diseño y la implementación de un sistema embebido para el control, supervisión y adquisición de datos a través de una red de comunicaciones para el control de tráfico vehicular. El sistema permite el almacenamiento y adaptación de planes de señales, así como la transmisión de datos por diferentes redes como WLAN, LAN y redes celulares de la información correspondiente a conteos vehiculares, detección de vehículos con paso restringido (rojos), supervisión de parámetros de tráfico (alarmas) y envío de comando de control de tráfico.

El sistema presentado es una solución económica para la implementación de dispositivos de control de tráfico, ya que su costo incluye los diferentes modos para controlar el tráfico (así el más común sea responsivo) e integra los elementos necesarios para conectar directamente las tarjetas de potencia y sensores para el envío y adquisición de señales; el costo promedio para un sistema de cuatro grupos sencillos es de aproximadamente US\$12.000. Por otro lado, implementar la misma solución con un sistema comercial tiene un costo de entre US\$25.000 a US\$45.000, el cual corresponde al valor del sistema embebido y los dispositivos externos necesarios para adaptar las tarjetas (rack, gabinete, sistema de borneras y protección, etc.).

El dispositivo de control de tráfico demostró ser una herramienta flexible en el campo del planeamiento semafórico en la ingeniería de tráfico y muy útil en el campo de la seguridad ciudadana. Esta herramienta puede ser utilizada en actividades de prevención de accidentes, constituyéndose en un ejemplo tangible del uso de las TIC en esta área.

La solución implementada proporciona la oportunidad de realizar una transferencia tecnológica y de conocimientos

en el campo de los sistemas embebidos. Igualmente, constituye una experiencia académica enriquecedora, la cual permite minimizar la dependencia tecnológica en el desarrollo de herramientas para la solución de problemas que a diario acontecen en la sociedad.

En el proceso de desarrollo del dispositivo de control de tráfico, se realizó un acercamiento a las normas, temáticas y a los dispositivos comerciales utilizados a nivel mundial, así como se ha permitido identificar las metodologías de diseño y las arquitecturas de hardware/software utilizadas en los sistemas embebidos y aplicarlas en el campo de la ingeniería de tráfico.

8. Financiamiento

Proyecto desarrollado en el marco de la maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Referencias

- [1] D. Robles, P. Ñañez y N. Quijano, “Control y simulación de tráfico urbano en Colombia: Estado del arte”. *Revista Ingeniería Universidad de los Andes*, vol. 29, pp. 59-69, 2009.
- [2] I. Thomson y A. Bull, “La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales”. *Revista Cepal*, vol. 76, pp. 109-121, 2002.
- [3] N. Leal, E. Leal y J. Branch, “Sistemas de monitoreo de tránsito vehicular basados en técnicas de segmentación de imágenes”. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, vol. 7, no. 3, pp. 75-86, 2010.
- [4] A. Ruiz, “Control de tráfico vehicular utilizando lógica difusa”. Tesis de grado en ingeniería electrónica, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2009.
- [5] O. Salcedo, L. Pedraza y C. Hernández, “Modelo de Semaforización Inteligente para la Ciudad de Bogotá”. *Revista Ingeniería*, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, vol.11, no.2, pp. 61-69, 2007.
- [6] L. Pedraza, C. Hernández, D. López, “Control de tráfico vehicular usando ANFIS”, *Ingeniare, Revista chilena de ingeniería*, vol. 20, no. 1, pp. 79-88, 2012.
- [7] Siemens, SITRAFFIC C800V - Guía de operación para el controlador C800V y Detector LD4, Siemens, 2010.
- [8] O. Romero, “Diseño de un modelo de controlador flexible para un sistema integrado de transporte que permita superar las deficiencias actuales en captura de datos e intercambio entre sistemas heterogéneos”. Tesis de maestría en ingeniería industrial, Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad de Ingeniería, 2013.