

Transit Signal Priority Architecture for Bus Rapid Transit Systems.

Arquitectura de Sistema Semafórico con Señal de Prioridad para Transporte Público.

René Gómez-Londoño, Andrés G. Velásquez-Gómez, Fabián L. Muñoz-Tobón
Grupo de Investigación Sirius.
Universidad Tecnológica de Pereira.
Pereira, Colombia
{rene, andres, fabian}@sirius.utp.edu.co

Abstract— Colombia have experienced the benefits of Bus Rapid Transit systems around its cities. In this paper we describe a transit signal priority architecture for BRT based public transport systems. Multiple implementation scenarios are shown in order to deploy the priority system in diverse cities with different needs and requirements. NTCIP is used as standard communication protocol for interoperability with multiple traffic control devices.

Resumen— Las experiencias colombianas en múltiples ciudades han demostrado los grandes beneficios que han brindado los sistemas de Buses de Tránsito Rápido (BRT, *Bus Rapid Transit*) al país. En el presente artículo se describe una arquitectura de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), específica para la implementación de sistemas de tránsito con señal de prioridad (TSP, *Transit Signal Priority*) en sistemas BRT. Se presentan múltiples escenarios de implementación para asegurar que diversas ciudades puedan utilizar dicha arquitectura según sus necesidades. Como protocolo de comunicación se utiliza el estándar NTCIP, lo que garantiza la interoperabilidad con diversos dispositivos de control de tráfico.

Keywords— *Intelligent Transport Systems; NTCIP; Transit Signal Priority, ITS Architecture; Transport Planning.*

I. INTRODUCCIÓN

A NIVEL mundial, más de 168 ciudades han implementado sistemas de buses de tránsito rápido (BRT, por sus siglas en inglés) en búsqueda de soluciones de transporte público de bajo costo y sostenibles [1]. BRT es un servicio de altas prestaciones para transporte público, que tiene como objetivo combinar servicios, autobuses, carriles exclusivos y 'estaciones' de alta calidad, en búsqueda de características similares a un tren ligero o un sistema de metro, con la flexibilidad, el costo y la simplicidad de un sistema de autobuses.

En el documento CONPES 3260 [2], se definió como política nacional colombiana la implementación de Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM) como herramienta para mejorar la movilidad en el tránsito urbano en ciudades con una población mayor a 600.000 habitantes.

Considerando las diferentes opciones en materia de transporte, las administraciones municipales adoptaron los BRT como principal solución de SITM debido a su potencial relación coste/beneficio [3]. Sin embargo, en

Colombia no se ha logrado explotar todo el potencial que un sistema BRT ofrece a una ciudad y sus habitantes, precisamente porque existe poca integración de tecnologías de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) [4].

El Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP, por sus siglas en inglés) con respecto a las intersecciones semafóricas sostiene que estas «representan un punto crítico en cualquier corredor BRT. Una intersección pobremente diseñada o una fase semafórica mal sincronizada pueden reducir sustancialmente la capacidad del sistema» [3]. Esto se refiere a que los tiempos de los semáforos no se adaptan adecuadamente a la frecuencia de los buses pertenecientes al BRT, causando espera de los buses en las intersecciones o en donde por ejemplo se activan las fases correspondientes al carril exclusivo aún cuando no hay ningún bus, deteriorando también el tráfico vehicular convencional, generando a su vez sobrecostos económicos y ambientales. Para eliminar dichos problemas se utilizan los sistemas de tránsito con señal de prioridad (TSP), para el que se presenta una arquitectura en la ciudad de Pereira, basado en un estudio que evaluó su pertinencia local. A su vez, se dan algunas pautas generalizadas y se definen múltiples escenarios que permitan la implementación de este tipo de sistemas en otras ciudades.

Para describir dicha arquitectura, este documento define la siguiente estructura: En la sección II se estudian las ventajas de los sistemas TSP. En la sección III se plantean las actividades para el desarrollo de una arquitectura en este tipo de proyectos. Los atributos de calidad se describen en la sección IV y el ambiente técnico en la sección V. En la sección VI se estudia la vista de escenarios operacionales del sistema de prioridad, teniendo en cuenta el estándar NTCIP. En las secciones VII, VIII y IX se presentan las vistas lógica, de procesos, de implementación y física del sistema. Finalmente, en la sección X se definen algunas conclusiones y trabajos futuros.

II. SISTEMAS DE TRÁNSITO CON SEÑAL DE PRIORIDAD

Dentro de las múltiples soluciones tecnológicas que aportan los ITS, las estrategias TSP son cruciales para hacer más eficiente, cómodo y sostenible el transporte en

general, dado que tiene un impacto directo en la movilidad de los sistemas de transporte público, de los peatones y del tráfico convencional [5].

En la Guía de Implementación de Sistemas BRT [6], se evidencian numerosos casos de éxito para las estrategias TSP: Atlanta (USA) reportó mejoras en los tiempos del 33%, Los Ángeles (USA) mejoraron en un 25% el tiempo total de viaje, en Bermerton (Alemania) se redujo el tamaño de la flota en un 10%, Hamburgo (Alemania) detectaron mejoras en los tiempos desde el 25% hasta el 40% en diferentes rutas.

Como parte de este proyecto, se realizó un estudio previo para evaluar el impacto que podría tener la implementación de estrategias TSP en el sistema de transporte masivo de la ciudad de Pereira [7]. Se concluyó que la implementación de estrategias TSP resultaría en la mejora de los tiempos de recorrido en los diferentes tramos de las rutas del BRT.

Diversos estudios [3], [5], [8] han demostrado que dichas mejoras en el desempeño del sistema BRT tienen varios beneficios:

- Mayor fiabilidad del despacho y arribo de los vehículos de transporte público reduciendo la incertidumbre y estrés de espera de los usuarios en las estaciones.
- Reducción de los tiempos de viaje.
- Reducción de paradas en intersecciones que conduce a la reducción de desgaste de los equipos y consumo de combustible.
- Mayor comodidad del usuario durante el viaje.
- Reducción de emisiones contaminantes.

Todo esto se traduce en un sistema de transporte público mucho más atractivo para los viajeros, uno de los factores clave en la solución a problemas de movilidad en las grandes ciudades del mundo [8].

Informalmente y en su implementación más extendida, el funcionamiento de los sistemas de prioridad se basa en la petición de prioridad que se realiza (mediante mensaje directo o detección) para un vehículo determinado (de servicio público, de emergencias, comercial, etc.), el recibo de dicha petición por parte de los sistemas de control de tráfico (el controlador de tráfico o una central) y el procesamiento de la misma, en donde se aplica un criterio de decisión para otorgar la prioridad (Figura 1). Aun así, en la práctica un sistema TSP es mucho más complejo y puede implementarse de diversas formas.

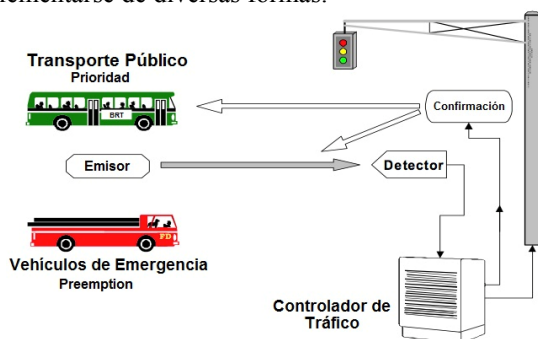


Figura 1 Esquema de sistema de prioridad.
Fuente: Adaptado de [9]

En las siguientes secciones se estudiarán los tipos de estrategias TSP y los diversos escenarios en los que éstas se pueden implementar.

III. ARQUITECTURAS ITS PARA TSP

Una arquitectura ITS es un ‘marco general de desarrollo’ (*framework*) que muestra los componentes del sistema, las propiedades más importantes de los mismos y las interconexiones entre ellos [10]. Una arquitectura ITS puede verse como un medio para incorporar la tecnología y las estrategias de administración a los sistemas de transporte de una forma responsable, eficiente, sistemática y segura.

En la construcción de la arquitectura se consideraron múltiples escenarios de implementación, con el fin de lograr una arquitectura global que pueda adaptarse a las diversas situaciones que pueden presentarse en diferentes ciudades. Sin embargo, se entiende que podrían presentarse casos especiales en los que algún cambio en la arquitectura sea necesario, para ello, a continuación se enumeran las actividades necesarias para mantener, modificar o definir una nueva arquitectura ITS:

1. Estudios Previos.
2. Identificación de Stakeholders.
3. Identificación del Entorno.
4. Definición de Servicios e Interfaces.
5. Consideraciones de Implementación.
6. Mantenimiento de la arquitectura.

Se recomienda el Modelo 4+1 Vistas, presentado por Philippe Kruchten [11] para describir la arquitectura ITS. Este modelo, ampliamente utilizado en la industria, provee múltiples vistas para representar el sistema desde las diferentes perspectivas de cada grupo de cointerésados o *stakeholders*. A su vez, se recomienda utilizar los diagramas de contexto, dada su aplicación en el área ITS para la representación de este tipo de sistemas.

Dado que no se pueden incluir todos los servicios y diagramas desarrollados, se recomienda visitar el sitio web de la arquitectura <http://sirius.utp.edu.co/arquitecturait>. En el sitio web se hace una mejor estructuración a través de hipervínculos que enlazan las diferentes partes de la arquitectura ITS.

A continuación se describen algunos de los diagramas más importantes de la arquitectura diseñada.

IV. ATRIBUTOS DE CALIDAD

Los sistemas inteligentes de transporte son bastante complejos debido a que involucran una gran cantidad de tecnologías de información y múltiples *stakeholders* con diferentes intereses. Por lo tanto, su implementación debe ser metódica y bien controlada, considerando atributos de calidad que aseguren la capacidad de la arquitectura para adaptarse a la dinámica evolutiva inherente en las ciudades y sus sistemas de transporte. En consecuencia, la arquitectura de un proyecto ITS debe considerar como mínimo los siguientes atributos de calidad:

- Escalabilidad.
- Interoperabilidad.
- Intercambiabilidad.

- Integración.
- Modificabilidad.

Un factor transversal de gran importancia es la estandarización, que ayudará a dar soporte a los anteriores atributos de calidad. En la arquitectura presentada se tiene en cuenta el protocolo NTCIP (*National Transportation Communications for Intelligent Transportation System Protocol*).

V. AMBIENTE TÉCNICO

El sistema aquí diseñado toma en cuenta los controladores de tráfico de la ciudad de Pereira, los cuales están contruidos con FPGAs (del inglés *Field Programmable Gate Array*). Se utilizaron estos dispositivos de hardware reconfigurable ya que permiten agregar nuevas características y funciones a los controladores de tráfico sin necesidad de adquirir nuevos equipos o módulos de hardware, una característica de gran importancia en los sistemas semafóricos de ciudades de países en vías de desarrollo, en donde los recursos limitados deben aprovecharse al máximo.

Por otra parte, el sistema semafórico de Pereira utiliza NTCIP (*National Transportation Communications for Intelligent Transportation System Protocol*) como estándar de comunicación para asegurar la interoperabilidad con dispositivos que puedan adquirirse en el futuro.

NTCIP es una familia de estándares abiertos diseñados para los diferentes elementos involucrados en el control de tráfico. Fue desarrollado por diferentes instituciones en Estados Unidos de América, liderados por el Departamento de Transporte de ese país y por NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) [12].

Dentro de los beneficios que se pueden enumerar de NTCIP se encuentran: Incremento de la flexibilidad para elegir proveedores de dispositivos, elimina barreras para hacer administración de dispositivos en campo, convivencia con dispositivos no NTCIP, facilidades de despliegue en las redes viales, coordinación de centrales de control, entre otros.

Por lo anterior, el sistema semafórico propuesto tiene un bajo costo de construcción y de integración, lo que facilita el apoyo de las autoridades de tráfico para su implementación.

VI. REQUERIMIENTOS

Ahora bien, los sistemas de prioridad se basan en dos elementos principales: Un generador de peticiones de prioridad y un servidor que recibe las peticiones y las ejecuta según la estrategia definida. Estos dos elementos pueden ser considerados como procesos lógicos que físicamente pueden ser implementados de múltiples formas.

En el estándar NTCIP 1211 SCP [13], el generador de peticiones de prioridad recibe el nombre PRG (del inglés, *Priority Request Generator*) y el servidor de peticiones de prioridad PRS (del inglés, *Priority Request Server*). Un vehículo de transporte o una central presenta una solicitud de prioridad al PRS a través del agente PRG.

Por otra parte, un tercer elemento de gran importancia dentro de NTCIP es el *coordinador* (CO). Como su nombre lo indica, es la entidad lógica encargada de ejecutar una estrategia TSP en el controlador de tráfico asegurando que se mantenga la coordinación con las intersecciones adyacentes. Aún en ciudades donde no se trabaja con NTCIP, estos tres elementos pueden considerarse base para la implementación de sistemas de prioridad.

A continuación se describen algunos requerimientos básicos necesarios para el funcionamiento de este tipo de sistemas:

A. Generador de Peticiones de Prioridad (PRG)

Las funciones principales del generador de peticiones de prioridad son las siguientes:

- Determinar si un vehículo necesita tratamiento preferencial (prioridad) en una intersección semafórica, según una serie de criterios definidos por el usuario (i.e. retraso, clase de vehículo, nivel de ocupación, etc.).
- Producir una estimación del tiempo de servicio deseado en la intersección semafórica para el vehículo. Esta estimación, medida en segundos, representa el tiempo de llegada del vehículo a la intersección y puede variar desde cero (0) (que representa una solicitud de servicio inmediato) a una cierta cantidad de segundos.
- Enviar la solicitud de prioridad y el tiempo de servicio deseado al servidor de peticiones de prioridad.
- Producir un registro de todas las solicitudes de prioridad para el posterior procesamiento de una agencia de gestión de flotas.

Es necesario tener en cuenta que muchos vehículos de transporte de diferentes operadores pueden producir solicitudes de prioridad para una misma fase en una intersección. En general, es responsabilidad de las entidades de gestión de flota de transporte público instalar, operar y mantener los equipos PRG. Las normas y especificaciones relativas al diseño del PRG para los vehículos de transporte se pueden encontrar en el estándar APTA TCIP.

B. Servidor de Peticiones de Prioridad (PRS)

Las funciones principales del servidor de solicitudes de prioridad (PRS) son las siguientes:

- Recibir varias solicitudes de prioridad de diferentes PRG.
- Determinar a qué vehículo se le dará prioridad, basado en las clases, los niveles y los tiempos de servicio requeridos por los vehículos.
- Determinar la estrategia a ser utilizada por el controlador de tráfico para dar prioridad a los vehículos de flota.
- Enviar la solicitud de servicio al controlador de tráfico para ser procesados por el Coordinador (CO).
- Producir un registro de todas las solicitudes de prioridad recibidas y solicitudes de servicio generadas hacia el Coordinador (CO).

En la mayoría de implementaciones, el PRS se localiza en el gabinete del controlador de tráfico y puede ser implementado como un componente separado o en la lógica misma del controlador. Normalmente la entidad de gestión de tráfico es la responsable de la instalación, operación y mantenimiento del PRS. NTCIP 1211 describe principalmente las normas y especificaciones en relación con el diseño de este elemento.

A partir de estos requerimientos se puede construir fácilmente la vista de casos de uso y los escenarios operacionales según las necesidades de cada ciudad.

A continuación se establecen algunas recomendaciones para las demás vistas de la arquitectura.

VII. VISTA LÓGICA

Para esta vista, es necesario definir diversos escenarios que pueden llegar a implementarse. Los escenarios se caracterizan por la ubicación del generador y servidor de peticiones de prioridad y por los datos que se transmiten entre las partes que se muestran en la Figura 2.

Se debe tener en cuenta que los escenarios se basan en procesos lógicos y pueden resultar en diferentes implementaciones físicas. Las siguientes secciones ilustran los escenarios más probables.

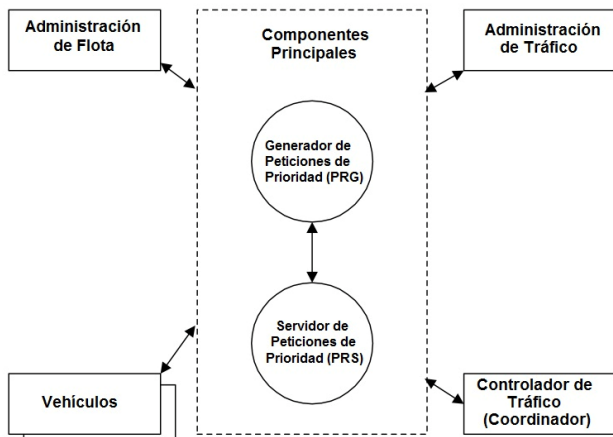


Figura 2 Elementos Sistema TSP
Fuente: Adaptado de NTCIP 1211 [13]

A. Escenario TSP 1.

Escenario de prioridad centralizado (Figura 3). El PRG se encuentra en el vehículo TSP. El vehículo de transporte transmite una petición de prioridad a la central de transporte público, que a su vez remite la solicitud al PRS a través de la central de tráfico. El PRS puede existir como un dispositivo físico, ya sea en la central de tráfico o en el controlador de tráfico.

La implementación de este escenario requiere que el vehículo de transporte sea capaz de generar y transmitir una solicitud de prioridad. Por lo tanto, el vehículo debe generar una solicitud basada en las características específicas de funcionamiento (e.g. adherencia al programa de horarios, cantidad de pasajeros, entre otros).

Para ser eficaz, esta alternativa requiere un sistema de comunicación en tiempo real (segundo a segundo) entre todos sus componentes. La eficacia y la eficiencia de una

implementación TSP se degradan rápidamente a medida que aumenta la latencia de comunicación.

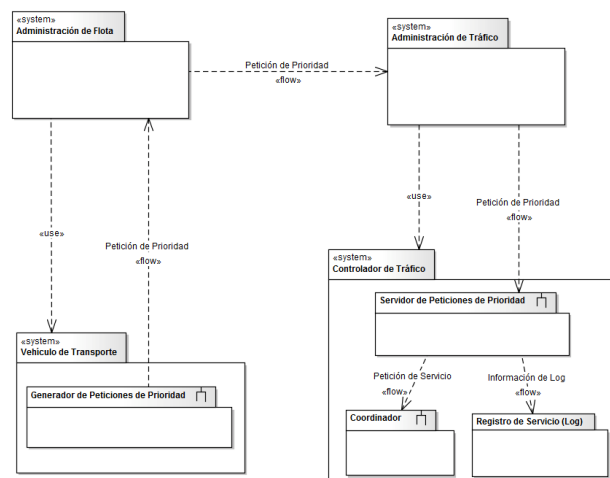


Figura 3 Escenario TSP 1

B. Escenario TSP 2.

El escenario 2, ilustrado en la Figura 4, difiere del primer escenario en que el generador de peticiones de prioridad se encuentra en la central de transporte público en lugar del vehículo de transporte. En este caso, la central toma la decisión de solicitar a la prioridad que se remitirá luego al PRS a través la central de tráfico. Una de las ventajas con respecto al primer escenario es que la central de transporte público mantiene la responsabilidad de todas las decisiones de solicitar prioridad. El sistema central puede pesar entradas de múltiples vehículos en la flota uno contra el otro y decidir por cuál de ellos solicitar prioridad.

C. Escenario TSP 3.

Este escenario describe el caso en el que se ubica el generador de peticiones prioridad en la central de tráfico, como se muestra en la Figura 5.

En esta alternativa, el controlador local detecta cuando el vehículo de flota se acerca a la intersección (e.g. mediante la detección con cámaras, sensores ópticos o localización) y transmite un mensaje a la central de tráfico, en donde se tiene la información relacionada con las operaciones de transporte público y basado en ella, se toma la decisión sobre la concesión de prioridad. Los parámetros de temporización de señales actualizados son enviadas de vuelta al PRS en el controlador local de tráfico.

D. Escenario TSP 4.

Una alternativa distribuida del sistema de prioridades se representa en la Figura 6. La característica definitoria de esta alternativa es que el vehículo de transporte contiene los sistemas y procesos necesarios para determinar si se debe solicitar prioridad basado en las condiciones predefinidas: adherencia de horarios, la ruta, cantidad de pasajeros, etc.

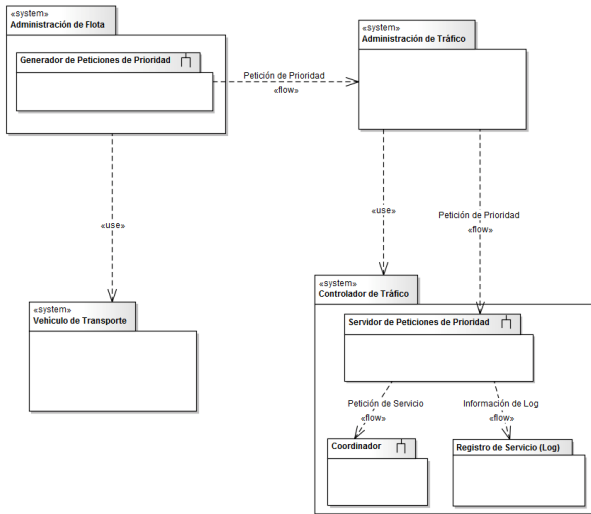


Figura 4 Escenario TSP 2

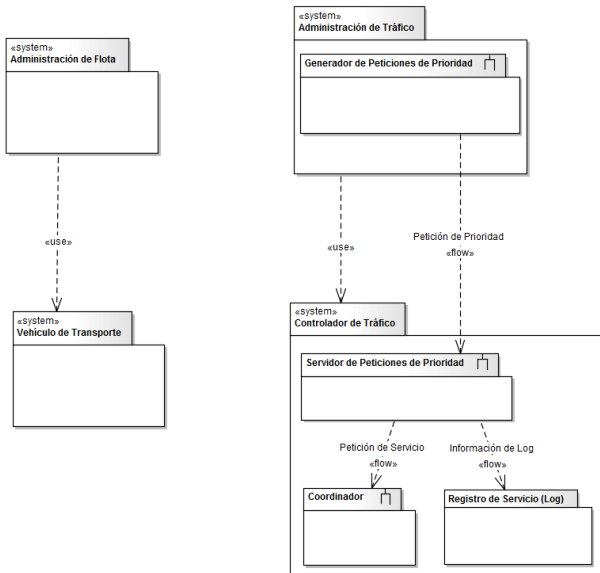


Figura 5 Escenario TSP 3

Si la generación de la solicitud de prioridad está condicionada a la adherencia de horarios, el sistema AVL (*Automatic Vehicle Location*) a bordo debe ser integrado con el horario de vehículos de toda la flota de transporte. El programa de horarios podría ser cargado en el vehículo todos los días. Una vez que el vehículo está retrasado según el horario por un umbral predefinido, el sistema de prioridad se activa.

Bajo este escenario, los controladores de tráfico individuales reciben un mensaje con prioridad desde el vehículo de transporte a través de algún sistema de comunicación situado en la intersección, donde se concede la prioridad y se ajustan los parámetros de temporización de señales, lo que elimina la necesidad de comunicación con alguna central.

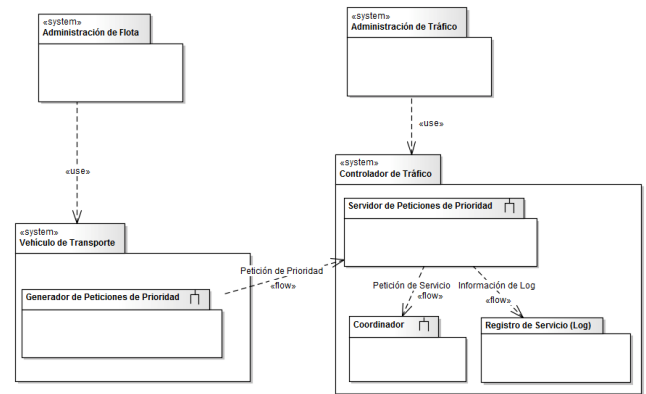


Figura 6 Escenario TSP 4

Una desventaja del escenario 4 es que los sistemas de localización y comunicación en los vehículos suelen ser bastante costosos. Además, sin la existencia de una conexión con las centrales es imposible hacer retroalimentación del sistema de prioridad.

VIII. VISTA DE PROCESOS

En la vista de procesos se ilustran los intercambios y las secuencias de mensajes más importantes involucrados en un sistema de prioridad, cumpliendo con el estándar NTCIP.

El sistema es iniciado por un PRG. Mediante el sistema de comunicación definido según cada escenario, se transmite la solicitud de prioridad al PRS, quien las recibe de múltiples fuentes y las organiza según el nivel de prioridad. Se utiliza luego una vía de comunicación para transmitir una solicitud de servicio al coordinador. Éste último ajusta los tiempos de coordinación para prestar el servicio de prioridad.

Para ilustrar un poco mejor el proceso, en la Figura 7 se representa una situación en donde una solicitud de prioridad se pone en cola inicialmente, se envía una actualización a la misma antes de que alcance a ser la primera en la cola, el coordinador recupera una petición y retorna el estado al respecto. Se configura el buffer para que retorne un estado y se lee. El coordinador recupera una petición de nuevo y completa el servicio, devolviendo un estado de *completo*. El estado del buffer se configura para retornar este resultado y es leído. Puesto que ahora se ha completado el proceso, la solicitud es eliminada.

Así mismo, en la arquitectura diseñada se deben representar los procesos y ejecutar estrategias TSP sobre el coordinador; recibir, actualizar, cancelar, eliminar y reportar el estado de peticiones en el PRS. Finalmente deben proveerse diagramas que expliquen la configuración del PRS y el coordinador.

IX. VISTA DE IMPLEMENTACIÓN Y VISTA FÍSICA

La vista de implementación y la vista física dependen del escenario definido, por lo que en este caso se presentan las vistas específicas para la ciudad de Pereira, Colombia. Un enfoque similar se puede utilizar para otras ciudades latinoamericanas, tomando en cuenta el entorno y las condiciones mismas de cada ciudad. Para la

implementación del proyecto específicamente en la ciudad de Pereira se recomienda utilizar el escenario TSP número dos (2). El generador de peticiones de prioridad (PRG) se ubicaría en central de transporte público, en este caso el Centro de Control de Megabús S.A., quien sería el responsable de tomar la decisión de solicitar prioridad, y que la transmitiría luego al PRS en los controladores de tráfico a través del Centro de Control y Gestión de Tráfico del Instituto Municipal de Tránsito de Pereira (IMTP).

De igual forma, para la vista física se realizaron los diagramas incluyendo los controladores de tráfico, servidores y demás equipos de la central de tráfico del IMTP. Las ventajas para la ciudad de dicho escenario y los diagramas para estas dos vistas se describen en detalle en el documento de la arquitectura.

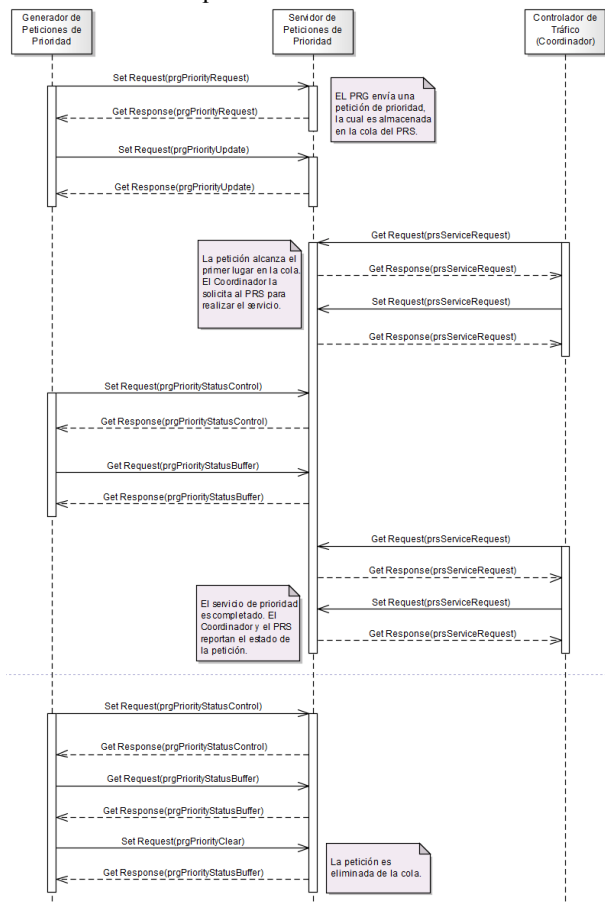


Figura 7 Ejemplo de Servicio de Prioridad

X. CONCLUSIONES

Se presentó el problema que pueden significar las intersecciones semafóricas en un sistema BRT y se planteó una arquitectura para la implementación de un sistema de prioridad que permita mitigar este impacto negativo, identificando los beneficios que tienen estas tecnologías sobre el sistema de transporte público.

Una arquitectura ITS se convierte entonces en un medio para incorporar las tecnologías ITS a los sistemas de transporte de una forma responsable, eficiente, sistemática y segura.

En el futuro, para el desarrollo de otros proyectos ITS en

la región, se evidencia la necesidad de construir una arquitectura a nivel regional, que provea un entorno de integración institucional, identificando oportunidades de planeación, inversión, implementación y operación conjunta de los sub-sistemas de transporte. Estos procesos están enmarcados y tendrán continuidad en la línea ITS del Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico de Pereira.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue realizado gracias al aporte del programa *Jóvenes Investigadores e Innovadores* de COLCIENCIAS, a través del Grupo de Investigación Sirius y el CI&DT de Pereira.

REFERENCIAS

- [1] EMBARQ, "BRTData," 2014. [Online]. Available: <http://www.brtdata.org/#/info/about>. [Accessed: 03-Nov-2013].
- [2] CONPES (Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia/Departamento de Planeación Nacional), "CONPES 3260 - POLÍTICA NACIONAL DE TRANSPORTE URBANO Y MASIVO," Bogotá, Colombia, 2003.
- [3] ITDP (Institute for Transportation & Development), "Guía de Planificación de Sistemas BRT (Autobuses de Tránsito Rápido)," 2010.
- [4] APTA (American Public Transportation Association), "Recommended Practices for BRT Intelligent Transportation Systems," Washington, 2008.
- [5] H. R. Smith and B. Hemily, *Transit Signal Priority (TSP): A Planning and Implementation Handbook*. Transportation Research Board, 2005.
- [6] TCRP (Transit Cooperative Research Program / Transportation Research Board), "TCRP Report 90: Bus Rapid Transit - Implementation Guidelines," Washington, 2003.
- [7] D. Jimenez, O. Sabogal, and J. Jaramillo, "Impacto de la Implementación de Estrategias TSP en el Sistema de Transporte Masivo de la Ciudad de Pereira," *2012 IEEE Colombian Intelligent Transportation Systems Symposium (CITSS)*, pp. 6–10, 2012.
- [8] TCRP (Transit Cooperative Research Program / Transportation Research Board), "TRB Special Report 257: Making Transit Work: Insight from Western Europe, Canada, and The United States," Washington, 2001.
- [9] R. Bossom and P. Jesty, "Different Types of ITS Architectures and Their Uses," *12th World Congress on Intelligent Transportation Systems*, vol. 44, no. 0, pp. 1–9, 2005.
- [10] S. Shaheen, M. Camel, and K. Lee, "Exploring the Future of Intelligent Transportation Systems in the United States from 2030 to 2050: Application of a Scenario Planning Tool," *2013 Transportation Research Board Annual Meeting*, 2013.
- [11] P. (Rational S. Kruchten, "The 4+1 View Model of Architecture," *Software, IEEE*, no. November, 1995.
- [12] J. C. on the N. NTCIP Committee, "NTCIP 9001 version v04 National Transportation Communications for ITS Protocol The NTCIP Guide." AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) ITE (Institute of Transportation Engineers) NEMA (National Electrical Manufacturers Association), 2009.
- [13] J. C. on the N. NTCIP Committee, "NTCIP 1211 version v01 National Transportation Communications for ITS Protocol Object Definitions for Signal Control and Prioritization." AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) ITE (Institute of Transportation Engineers) NEMA (National Electrical Manufacturers Association), 2008.