

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE VANET SOBRE EL MEDIO DE TRANSPORTE TRANSMILENIO

Nancy Yaneth Gélvez García

Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones
Docente planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas
nayagarcia@udistrital.edu.co
Bogotá, Colombia

Danilo Alfonso López Sarmiento

Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones
Docente planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas
dalopezs@udistrital.edu.co
Bogotá, Colombia

Bayron Fabio Villanueva Ocampo

Ingeniero Electrónico
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
bfv88@hotmail.com
Bogotá, Colombia

Tipo: Artículo reporte de caso

Fecha de Recepción: Enero 13 de 2013

Fecha de Aceptación: Marzo 9 de 2013

ANALYSIS OF FEASIBILITY IN IMPLEMENTING VANET ON TRANSMILENIO TRANSPORTATION

ABSTRACT

This article explores the feasibility of implementing a mobile ad hoc network that supports information services, applied to Transmilenio Mass transportation system in Bogotá (Colombia). To achieve this goal, a telematic network simulator as NS-2 (Network Simulator), network simulator vehicles called SUMO (Simulation of Urban Mobility) and MOVE (Mobility model generator for Vehicular networks) interface connection between the two simulators are used. Finally, we analyze the problems associated with the network implementing.

Key words: VANET, NS-2, SUMO, MOVE, PDR, throughput, jitter.

RESUMEN

En este artículo, se analiza la viabilidad de implementar una red móvil ad hoc que soporte servicios informativos, aplicado al sistema de transporte masivo Transmilenio en la ciudad de Bogotá (Colombia). Para conseguir este fin, se hace uso de un simulador de redes telemáticas como es NS-2 (Network Simulator), un simulador de redes de vehículos llamado SUMO (Simulation of Urban Mobility) y MOVE (Mobility model generator for Vehicular networks) una interfaz de conexión entre ambos simuladores. Finalmente, se analiza los problemas que acarrea implementar la red.

Palabras claves: VANET, NS-2, SUMO, MOVE, PDR, throughput, Jitter.

1. INTRODUCCIÓN

El automóvil es uno de los medios de transporte que goza de mayor popularidad y cuyo uso se ha convertido en una necesidad para mucha gente, es por ello que en los últimos años la importancia de VANET ha sido reconocida por muchos fabricantes de automóviles, organizaciones no gubernamentales y académicas, debido a que las Redes VANET permiten establecer comunicación en tiempo real entre vehículos con el fin de prevenir accidentes de tránsito y mejorar la seguridad de los usuarios [1].

En un sistema de transporte masivo como Transmilenio, que transporta al año más de 3604 millones de pasajeros, tiene una flota de 1,290 vehículos [8], y la cantidad de accidentes es alta (más de 200 en el año 2011) debido principalmente a errores humanos [9], le vendría bien tener una red VANET que le permitiría conocer en tiempo real la congestión de sus vías, recibir avisos de accidentes recalculando una ruta alternativa, compartir archivos multimedia entre vehículos, etc.

El objetivo de este documento es analizar la viabilidad de la implementación de VANET en el sistema de transporte masivo. Para ello se convertirá una parte de una ruta de Transmilenio, en un archivo que conjugue todos los mecanismos necesarios para interpretar dicho escenario.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMILENO

Transmilenio es un sistema de autobús de tránsito rápido con corredor segregado del tipo cerrado, tronco-alimentado, de plataforma alta y con paradas fijas encapsuladas en estaciones exclusivas, donde la taquilla se cobra antes de ingresar al bus. Actualmente moviliza 46,000 pasajeros/hora/sentido (PHS) en la troncal de la Caracas, más que el 95% de los metros del mundo; más del doble que las líneas más cargadas del metro de Madrid, Washington o Delhi [11] y según los bogotanos, es el segundo medio de transporte con opinión más favorable, sólo superado por el servicio de taxis.

Transmilenio presenta fallas tanto organizacionales por desacuerdos en factores salariales y jornadas laborales, como fallas en infraestructura donde se ha criticado el estado de las vías, lo que provoca a los conductores cambios drásticos de rumbo, frenadas inesperadas y eventuales choques. Finalmente, se dice que el sistema está saturado, razón por la cual muchos articulados tienen que hacer cola detrás de otros para tener acceso en la estación [12].

Es por estos problemas agudos que es necesario un sistema que permita la gestión y monitoreo tanto de los vehículos como de las vías.

3. VANET

Las redes VANET (Vehicular Ad-Hoc Network) provienen directamente de las redes MANET (Mobile Ad-Hoc NETWORK), pero con características específicas: la comunicación es de vehículo a vehículo o de vehículo a infraestructura de comunicación [2].

Las redes VANET empezaron a coger cierta relevancia en octubre de 2002, con la finalidad de ofrecer seguridad, eficiencia y confort en las carreteras. Se han realizado gran cantidad de conferencias y existen grandes grupos de trabajo cuyos estudios están centrados en este tipo de redes (IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), IEEE Intelligent Transportation Systems (ITS), ACM Internacional Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET) o International Workshop on Intelligent Transportation (WIT)) [7].

En una red VANET, los vehículos muchas veces viajarán de una forma definida al seguir una ruta establecida hacia su destino mientras que otras veces lo harán de una forma aleatoria, ya que dependiendo de factores externos como accidentes de tránsito, paradas intermedias o espontáneas de vehículos pesados o buses; y tráfico excesivo, provocarán que los vehículos se salgan de su ruta predefinida en busca una nueva ruta alterna con lo cual la topología de las red VANET varía constantemente dependiendo del ingreso o salida de vehículos dentro de la red, viéndose afectada constantemente su

topología [3].

Dentro de una VANET, cada vehículo tiene un rango de cobertura que va desde los 100 hasta los 300m en donde se mantiene una conectividad clara permitiéndose así el intercambio de información entre vehículos. De esta forma se pueden crear redes de mediano y largo alcance y cuya aplicación puede ser aprovechada para crear redes urbanas que permitan solventar problemas de seguridad y tráfico en las distintas rutas dentro de un perímetro urbano establecido [3].

La movilidad característica de los nodos de una red VANET influye en parámetros como la ruta conseguida, el mantenimiento de la topología, capacidad de mantenimiento y reconstrucción de rutas. En cada instante, se tiene una red en la cual conviven elementos móviles y estáticos, cuyo rol puede variar sin previo aviso debido a la disposición de las calles, el tamaño de las manzanas o los mecanismos de control de tráfico [1].

3.1. Estándar 802.11

El estándar 802.11 del IEEE (pie) para redes inalámbricas, permite la integración inalámbrica con cableado IEEE 802.3, red ethernet, usando dispositivos llamados puntos de acceso (Access Point) o estaciones base. Esto significa que el estándar inalámbrico IEEE 802.11 soporta todos los estándares de protocolos de red ethernet incluyendo TCP/IP, AppleTalk, NetBEUI e IPX. Este es el estándar sobre el que funciona NS-2, para entornos inalámbricos [7]. Gracias a la interoperabilidad que ofrecen diversos consorcios formados en torno a las VANET, se conseguirá compatibilizar el funcionamiento en distintos tipos de vehículos, dando lugar a una arquitectura común a todo el parque de vehículos.

3.2. Protocolo AODV

AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol) es un protocolo de encaminamiento bajo demanda o reactivo; que se caracteriza porque los nodos no envían informa-

ción de control a no ser que tengan información que transmitir [2].

Tabla 1. Ventajas y desventajas del protocolo AODV.

| Ventajas | Desventajas |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Libre de lazos de enrutamiento. • Multicast opcional. • Reducción del overhead de control. | <ul style="list-style-type: none"> • Retardos causados por el proceso de descubrimiento de ruta. • No permite el manejo de enlaces unidireccionales. |

3.3. Características de VANET

Autonomía: Cada terminal tiene autonomía, con capacidad para procesar la información proveniente de otros nodos de la misma red. Esto recae en que el funcionamiento de la red no depende de ninguna infraestructura previa lo que la hace más tolerante a fallos del sistema. Control distribuido de la red: Sin infraestructura para el control de la red, este se debe hacer de forma distribuida en cada nodo.

Encaminamiento. Es necesario que cada nodo por separado y todos en su conjunto sean capaces de proporcionar un mecanismo dinámico de encaminamiento (pie). Este encaminamiento se basa en las capacidades de cada nodo.

Topología de red variable: En una VANET el movimiento en los nodos se da de forma arbitraria, aunque generalmente lo hagan siguiendo ciertos patrones de movimiento. Debido a esto, la red se puede subdividir en varias y producir importantes pérdidas de paquetes.

Capacidad variable de los enlaces: Es intrínseca al medio de transmisión pero sus efectos se agravan más en las MANETs. Esto se debe a que cada nodo actúa como router y la información atraviesa múltiples enlaces inalámbricos [9].

3.4. Beneficios de VANET

Los principales beneficios que las redes VANET son:

- Información en tiempo real acerca de lugares comerciales o de establecimientos de

- seguridad como policías, hospitales o bomberos.
- Búsqueda y rescate de personas atrapadas en lugares de alto riesgo y de las cuales no se logra determinar su ubicación.
- Para los grupos de salvamento, las redes VANET contribuyen a mejorar sus sistemas de comunicación, ayuda a usuarios y grupos a coordinar mejor las tareas de salvamento [3].

4. DEFINICIÓN DE LA RUTA

La ruta que se escoge es la NQS sur debido a que esta es una de las vías más rápida, ya que presenta pocos semáforos, de ahí que se omitan al momento de realizar la simulación. Con base en lo anterior, las únicas rutas con las cuales se trabajara son las que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Rutas de Transmilenio [13].

| Estación | B5 | B11 | B12 | C16/C71 |
|----------------------|----|-----|-----|---------|
| Portal del Sur | * | * | * | * |
| Perdomo | * | | * | |
| Madelena | * | | * | |
| Sevillana | * | | | |
| Venecia | * | * | | * |
| Alquería | * | * | | |
| General Santander | * | | * | * |
| NQS Calle 38 A Sur | * | | | * |
| NQS Calle 30 Sur | * | | | * |
| SENA | * | * | | |
| Santa Isabel | * | | * | * |
| Comuneros | * | | * | |
| Ricaurte | * | * | * | * |
| Paloquemao | * | * | | |
| CAD | * | * | | * |
| Avenida El Dorado | * | | * | |
| Universidad Nacional | * | * | * | * |
| Campín | * | * | | * |
| Coliseo | * | | | * |
| Simón Bolívar | * | | * | * |
| Avenida Chile | * | | | * |
| CII 75 | * | * | * | * |

Es de notar que C16 y C71 son rutas complementarias, es decir, nunca están presentes al mismo tiempo, de ahí que solo se considere tan solo una de ellas.

Es necesario aclarar que en la tabla 1, solo están las rutas que parten desde el portal sur hasta la calle 75. Las rutas que van desde la calle 75 al portal sur, G5, G11, G12 y G16/G71, no se describen ya que tienen el mismo comportamiento que B5, B11, B12 y C16/C71 respectivamente, solo que van en sentido contrario.

5. MOVILIDAD

Para modelar el movimiento de los buses, que recorren la vía que va desde el portal sur hasta la estación de la calle 75, se hace uso de la herramienta generadora de modelos de movilidad MOVE [3] [1], para lo cual se tiene en cuenta lo siguiente:

- Cada 5 minutos, un bus perteneciente a la misma ruta sale del portal sur hacia la calle 75 y al mismo tiempo, sale uno en sentido contrario.
- En el intervalo de 5 minutos, sale al menos un bus de cada ruta del portal sur como de la calle 75.
- Mediante pruebas de campo, se encontró que la velocidad promedio de un bus de Transmilenio, en la ruta definida, es de 45km/h, de igual forma, se determinó que el tiempo que dura un vehículo en estar en una estación es de aproximadamente un minuto.
- Se considera una estación como un nodo de la ruta (la ruta fue diseñada de tal forma que todas las estaciones hacen parte del grupo de nodos).
- Como se definió, hay un total de 4 rutas, cada ruta tiene el mismo origen y destino. Para diferenciar una ruta de otra, a cada vehículo se le obliga a detenerse en determinados nodos, que serán las estaciones.
- Distancia promedio que hay entre las rutas es menor a un 1km [13].

6. SIMULACIÓN

6.1. Proceso de simulación

Este apartado está dedicado a la descripción del proceso de simulación general que es usado por cada uno de los escenarios. Dicho proceso está formado por una serie de pasos (ver figura 1), los cuales están clasificados en fases. Es de notar, que en la figura 1, los bloques que no pertenecen a MOVE, SUMO y NS2, fueron implementados ya que este proceso es excesivamente laborioso.

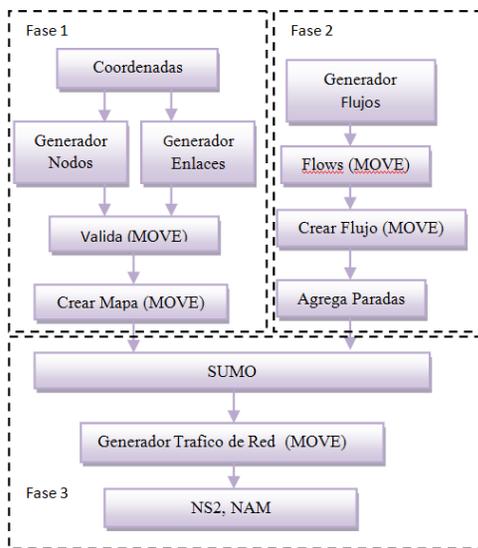


Figura 1. Etapas del proceso de simulación.

De la figura 1 se puede observar que el primer paso es obtener las coordenadas de la vía sobre la cual se van a mover los buses articulados. Posteriormente, partiendo de las coordenadas se define los nodos y los enlaces entre nodos. Luego, se genera el mapa y el resultado es el que se visualiza en la figura 2, una vez se abre el mapa con SUMO.

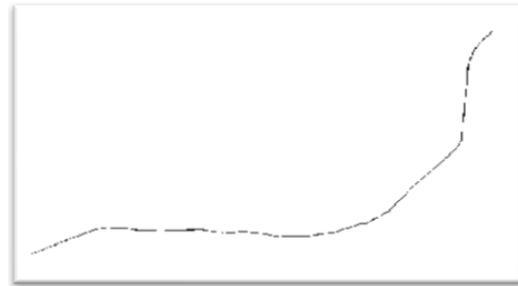


Figura 2. Segmento de la ruta de Transmilenio (portal sur – estación calle 75).

La fase 2 tiene como objetivo generar el patrón de movimiento para cada una de las rutas. Por lo tanto, mediante la herramienta MOVE se configura las rutas (ver tabla 2), indicando:

- Nodo origen y nodo destino (From Edge/To Edge).
- Tiempo de inicio y fin de la ruta (Begin/end).
- Intervalo de la salida de los móviles, el cual define el número de vehículos.

Tabla 2. Configuración de las rutas.

| ID | From Edge | To Edge | Begin | End | No Vehicles |
|-----|-------------|-------------|-------|--------|-------------|
| b5 | edgeU-1-2 | edgeU-60-59 | 0 | 2100,0 | 30 |
| b11 | edgeU-1-2 | edgeU-60-59 | 17,5 | 2100,0 | 24 |
| b12 | edgeU-1-2 | edgeU-60-59 | 35,0 | 2100,0 | 22 |
| c16 | edgeU-1-2 | edgeU-60-59 | 52,5 | 2100,0 | 21 |
| g5 | edgeD-60-59 | edgeD-2-1 | 0 | 2100,0 | 30 |
| g11 | edgeD-60-59 | edgeD-2-1 | 17,5 | 2100,0 | 24 |
| g12 | edgeD-60-59 | edgeD-2-1 | 35,0 | 2100,0 | 22 |
| g16 | edgeD-60-59 | edgeD-2-1 | 52,5 | 2100,0 | 21 |

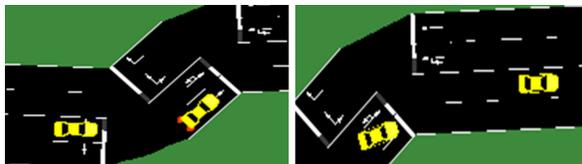
Configurada la ruta, se procede a crear los flujos de cada uno de los móviles, a través de MOVE. Seguidamente, al resultado obtenido se

agregan las paradas de las rutas. Cada parada se representa mediante la sintaxis que se visualiza a continuación.

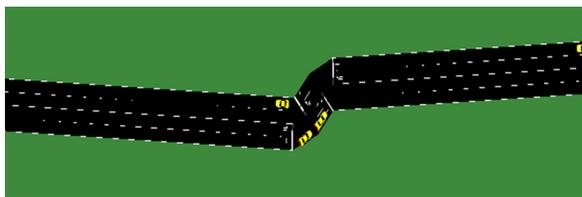
```
<vehicle id="b5_0" depart="0.00">
  <stop
    prueba="edgeU-6-7_0"
    posicioninicial="5"
    tiempo="10"
  /> ...
</vehicle>
```

Las paradas están asociadas a los móviles, donde prueba significa el segmento de la ruta donde se detiene el móvil, en tanto que los parámetros posición inicial y tiempo, están relacionados con el momento de la detención y su duración respectivamente.

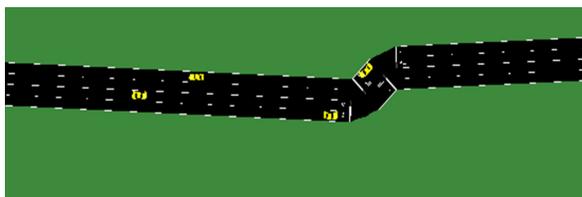
Completadas las fases 1 y 2 se procede a realizar la primera simulación entorno a la movilidad de los vehículos. La figura 3 presenta algunas muestras de la simulación en diferentes instantes de tiempo. Así, en la figura 3a, 3b, 3c y 3d, se puede observar el comportamiento de las rutas que se da en las estaciones, mientras en la figura 3a, el móvil detenido esta de primero, en la figura 3b, un instante después, el móvil que estaba detrás lo ha sobrepaso.



a. Estación en instante 1. b. Estación en instante 2.



c. Estación en instante 3.



d. Estación en instante .4

Figura 3. Simulación en sumo.

En la fase 3, a partir de lo generado por SUMO, MOVE genera un archivo con toda la información necesaria de la simulación, para ejecutarla sobre el NS-2. Para ello tiene en cuenta los siguientes parámetros de tráfico de la red que se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de simulación [2].

| Parámetro | Descripción |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de canal | Canal inalámbrico estándar definido por NS-2. |
| Tipo de interfaz de red | (Channel/WirelessChannel): La interfaz de red recibe los paquetes transmitidos por otros interfaces y está sujeta a colisiones y al modelo de propagación (Phy/WirelessPhy). |
| Modelo de antena | Antena omnidireccional |
| Protocolo Ad-Hoc | AODV |
| Tipo de protocolo MAC | Mac/802_11 |

Realizada la simulación por el NS2, los resultados se pueden ver gráficamente en NAM, tal cual como se ve en la figura 4. Es de notar que el movimiento de los nodos tiene una representación similar a la ruta mostrada en la figura 2.



Figura 4. Simulación en NAM.

(Los puntos en negro representan los vehículos que se mueven sobre la ruta definida en la figura 5)

Los punticos en negro representan los vehículos que se mueven sobre la ruta definida en la figura 5.

6.2. Escenarios de simulación

A continuación se presentan los diferentes es-

cenarios que han sido tenidos en cuenta para realizar la simulación.

Escenario 1: Número de vehículos

Se va a realizar 2 simulaciones, en donde el intervalo de la salida de cada uno de los móviles varía de 7 y 10 minutos para cada simulación. Aquí solo se realizara una conexión TCP en todo el proceso de la simulación.

Escenario 2: Número de conexiones

De la misma manera que en el escenario 1, aquí se hacen dos simulaciones. En la primera, se realiza una y en la siguiente cinco conexiones TCP. El intervalo de salida de los móviles permanece constante y será igual a 5 minutos.

Escenario 3: Protocolo de Transmisión usado

Se realizan dos simulaciones una mediante UDP y la otra por TCP. El intervalo de salida y el número de conexiones permanece constante.

7. RESULTADOS

Para analizar la viabilidad en la implementación de VANET sobre el sistema de Transmilenio nos apoyaremos en la medición del número de paquetes enviados, número de paquetes perdidos, Throughput, Jitter y la distancia entre nodos. Estos parámetros han sido escogidos ya que nos dan una primera visión del comportamiento de la red, ya que determinan la calidad del enlace y volumen de tráfico. Factores esenciales en un sistema de comunicación.

Antes que nada, hay que aclarar que se tuvieron una serie de limitantes al momento de realizar la simulación, como por ejemplo el NS2 presento fallas cuando se pretendía realizar más de 126 conexiones en un periodo de 2100ms, luego de un largo periodo, cerca de 15 horas, el sistema se bloqueaba. De tal forma que no se logró obtener un escenario en plenitud.

Por otro lado, la herramienta MOVE, se quedó corta al generar tráfico de red. Debido a que está, hasta el momento solo soporta tráfico es-

tático y no dinámico, lo que implica, que si se quiere establecer una conexión entre el origen y fin de la ruta de la figura 2, es necesario definir una conexión por cada par de nodos que intervienen en el enlace. Así, si se cuenta con 200 nodos se tendría que realizar, en cada instante, 100 conexiones diferentes para unir cada uno de ellos, ya que los móviles están en continuo movimiento lo que hace que en un instante un nodo tenga comunicación con otro nodo, instantes después ya no se tenga.

7.1. Escenario 1

Realizada la simulación se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 4.

| Intervalo de salida | Paquetes Enviados | Paquetes Perdidos | Número de Nodos |
|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| 7 Min | 10667 | 3573 | 138 |
| 10 Min | 10578 | 1331 | 96 |

Los datos arrojados en la tabla 4, evidencian un número apreciable de pérdida de paquetes, por ejemplo en el intervalo de salida donde se pierden 3573 de los 10667 paquetes transmitidos, es decir, se tiene que el 33,49 % de los paquetes transmitidos se pierden.

7.2. Escenario 2

Para el análisis de los resultados de este escenario, se medirá el Jitter y el Throughput.

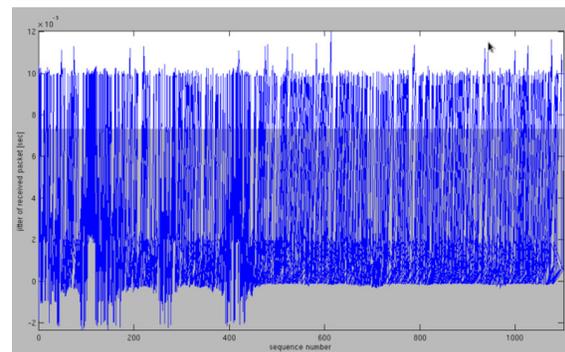


Figura 5. Jitter, establecimiento conexión TCP.

De la figura 5 se puede apreciar que la variación del tiempo de la llegada de los paquetes

casi siempre está por debajo de los 100ms, valor aceptable ya que este parámetro puede ser manejado mediante la variación del buffer.

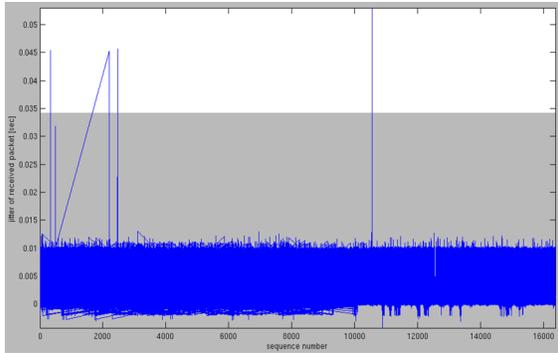


Figura 6. Jitter, establecimiento de cinco conexiones TCP.

Al comparar las figuras 5 y 6 se observa que al haber un aumento en el número de conexiones, se pasa de una a cinco, el comportamiento del Jitter se mantiene (toma valores por debajo de los 100ms). No obstante, lo que si varia es el número de paquetes transmitidos, algo que era de esperarse ya que se realizan más conexiones.

7.3. Escenario 3

Al realizar la simulación, con intervalo de salida de 5 minutos, utilizando una conexión TCP se obtuvo la figura 7; para UDP se generó la figura 8.

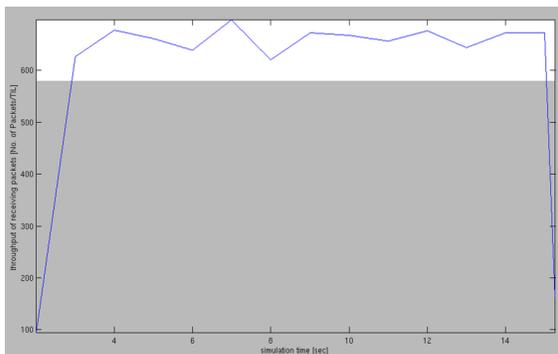


Figura 7. Throughput Vs Tiempo, conexión TCP.

De la figura 7 y 8 se reafirma como el Throughput es considerablemente mayor en conexiones TCP que en UDP, debido a que este último es no orientado a conexión y por tanto no retransmi-

te paquetes, en caso de que haya perdidas de los mismos.

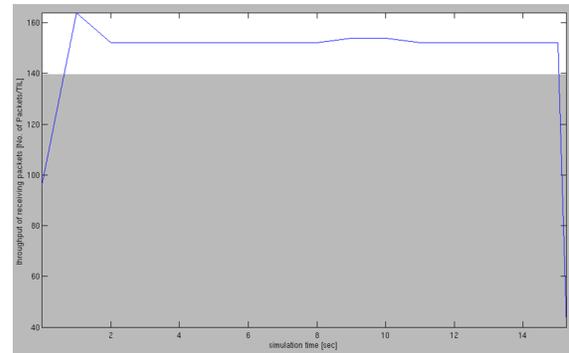


Figura 8. Throughput vs tiempo, conexión UDP.

Es sabido que las aplicaciones en tiempo real se transmiten mediante el protocolo UDP, razón por la cual, que si es necesario transmitir tráfico multimedia debe utilizarse este protocolo. Pero con los resultados aquí expuestos, no se tendría servicio aceptable ya que más de la tercera parte de los paquetes no llegan a recepción.

Al comparar las figuras 7, 8 con la 9, se puede intuir que el Jitter es superior en conexiones UDP que TCP; para el caso expuesto es aproximadamente 0,015 mayor. Pero su comportamiento es constante a diferencia de TCP que tiene una variación del 0,01s.

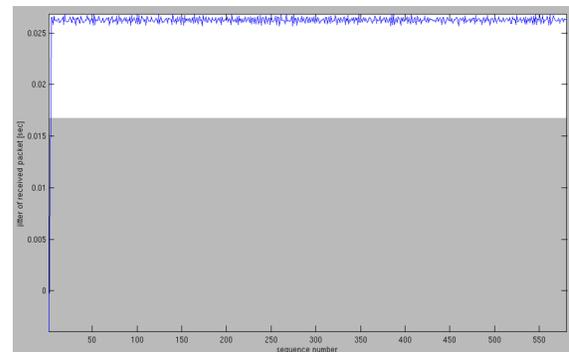


Figura 9. Jitter, Conexión UDP.

Pese a que no se definió una conexión que conecte el portal del sur con la estación de la calle 75, debido a los problemas con el número de conexiones y la variabilidad de los nodos, se observó, que es frecuente el hecho de que haya discontinuidades en la vía lo cual provoca que

no sea posible establecer una comunicación.

Una forma de mejorar la situación es incrementar el número de vehículos que transitan por la vía, pero no es óptimo, ya que el tráfico se deteriora.

Otra mejor solución, es agregar unidades entre estaciones en puntos estratégicos (sería entre estaciones) de tal forma que exista al menos un nodo cada 250m lo que permitiría establecer una conexión desde el origen de la ruta hasta el destino. Pero tal solución amerita su propio análisis de tal forma que los resultados lo confirmen, ya que seguramente puede presentarse congestión en las colas de las unidades insertadas.

Para analizar la viabilidad de la anterior solución es necesario la exploración de nuevas herramientas para la simulación del tráfico de red, o en caso tal, que no se tenga otra posibilidad y se deba emplear el NS2 es recomendable que la interconexión entre los diferentes nodos se haga empleando herramientas geográficas de ruteo, que determinan la ruta más óptima entre varios puntos. A partir de la ruta se establecería las conexiones, pero se debe tener en cuenta, que el número de conexiones a realizar sigue siendo un problema.

8. CONCLUSIONES

Bajo los términos aquí expuestos no es viable la implementación de una red VANET al sistema de transporte masivo Transmilenio, debido a que hay alto porcentaje de pérdida de paquetes, además las rutas de este medio son exten-

sas lo que conlleva a que frecuentemente haya segmentos de la ruta con distancias superiores a 250m, donde no se localice ningún vehículo. Razón por la cual no se puede establecer un enlace de comunicación, extremo a extremo.

Bajo el modo de operación actual de Transmilenio, la implementación de conexiones TCP requieren un elevado número de retransmisiones, lo cual se refleja en incrementos en los retardos. Mientras que al transmitir por UDP, se pierde un porcentaje considerable de los paquetes que llevan la información.

A través de la simulación grafica en el NS-2 (remitirse a la figura 5), se pudo observar que nunca se logró establecer una comunicación extremo-extremo en la ruta de Transmilenio escogida. Solo en algunos segmentos y por lapsos cortos de tiempo se pudo ver transmisiones de un nodo a otro. Igualmente se evidencio que el problema de comunicación se agudiza entre el Portal del sur y la estación de Perdomo, debido a que la distancia entre las dos es de aproximadamente 4km, sumado a que la vía es considerablemente rápida hace que la presencia de vehículos en ese segmento de la vía sea esporádica.

SUMO es una excelente herramienta para generar modelos de movilidad reales, pero NS2 aún no es una herramienta madura para trabajar con este tipo de redes ya que es necesario indicar paso a paso como debe comunicarse, lo cual es una tarea demasiado laboriosa y hace que pierda tiempo en cosas que no deberían ser importantes.

Referencias Bibliográficas

- [1] X. Sun, L. Xia-miao; Study of the feasibility of Vanet and its routing protocols, 2008.
- [2] M. Zulkefli, J. Flint; Performance metrics for the prediction of link and path availability in Vanets, Leicestershire, 2009.
- [3] Mobility model generator for vehicular networks. [En línea], consultado en Julio 11 del 2012, disponible en: http://lens.csie.ncku.edu.tw/Joomla_version/index.php/research-projects/past/18-rapid-vanet, 2011.
- [4] W. Foo, M. Lim, S. Wei; Performance

- analysis of vehicular Adhoc networks with realistic mobility pattern, Cyberjaya, 2007.
- [5] SUMO, Simulation of Urban Mobility. [En línea], consultado en: Agosto 4 del 2012, disponible en: <http://sumo.sourceforge.net/>.
- [6] Network Simulator NS-2. [En línea], consultado en noviembre 2 del 2011, disponible en: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [7] J. Canales; Redes Ad Hoc entre vehículos, México, 2008.
- [8] Estadísticas Transmilenio, 2011. [En línea], consultado en Julio 9 del 2012, disponible en: http://www.transmilenio.gov.co/WebSite/Contenido.aspx?ID=TransmilenioSA_TransmilenioEnCifras_EstadisticasGenerales.
- [9] Periódico El Espectador, 2011. [En línea], consultado en Agosto 10 del 2012, disponible en: <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/articulo-297227-ano-se-han-presentado-211-accidentes-transmilenio>.
- [10] Transmilenio: Sistema integrado de transporte masivo. [En línea], consultado en Octubre 17 del 2012, disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/bpal/onu02/bp129.html>
- [11] Las ventajas de Transmilenio EGOB, Revista de Asuntos Públicos, Universidad de los Andes Colombia, 2011.
- [12] Periódico El Espectador, Los problemas de Transmilenio, 2012. [En línea], consultado en Julio 7 del 2012, disponible en: <http://www.elespectador.com/opinion/editorial/articulo-297455-los-problemas-de-transmilenio>.
- [13] Transmilenio, 2011, [En línea], consultado en Julio 7 del 2012, disponible en: <http://www.transmilenio.gov.co/WebSite/Default.aspx>.