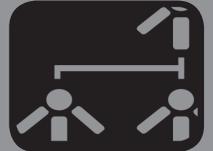


EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE REDES 802.11P/WAVE EN LA TRANSMISIÓN DE DATOS, VOZ Y VIDEO IP

PERFORMANCE EVALUATION OF 802.11P/
WAVE NETWORKS IN DATA, VOICE AND VIDEO
TRANSMISSION



AUTOR

ANTONI GABRIEL CAICEDO BASTIDAS
Ingeniero en Electrónica y
Telecomunicaciones
*Universidad del Cauca
agcaicedo@unicauca.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

JUAN MANUEL MARTÍNEZ OJEDA
Ingeniero en Electrónica y
Telecomunicaciones
*Universidad del Cauca
juanm@unicauca.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

GUEFRY LEIDER AGREDO MÉNDEZ
Magíster en Electrónica y
Telecomunicaciones
*Universidad del Cauca
gagredo@unicauca.edu.co
COLOMBIA

INSTITUCIÓN

*UNIVERSIDAD DEL CAUCA
UNICAUCA
Universidad Pública
Calle 5 # 4 -70
Popayán, Cauca
COLOMBIA

RECEPCIÓN: Octubre 30 de 2011

ACEPTACIÓN: Noviembre 18 de 2011

TEMÁTICA: Telecomunicaciones

TIPO DE ARTÍCULO: Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

RESUMEN ANALITICO

El acceso inalámbrico en entornos vehiculares (redes vehiculares) se presenta y estudia bajo características comunes, tales como la arquitectura de red, configuraciones, etapas de implementación, posibles protocolos de enrutamiento y la capa MAC, lo que permite la comprensión sobre cómo funciona, cómo se implementa e identificar variaciones del estándar original. Además, este artículo ofrece una evaluación del desempeño de la transmisión de datos, voz y video IP, y el análisis de algunos factores a considerar cuando los servicios se proporcionan en entornos vehiculares. El objetivo del estudio es la enmienda IEEE 802.11p/WAVE.

PALABRAS CLAVES: Redes Vehiculares, Wi-Fi, 802.11p

ANALYTICAL SUMMARY

Wireless access in vehicular environments (vehicular networks) is presented and studied under common features, such as network architecture, configurations, implementation stages, possible routing protocols and MAC layer, which allows the understanding of how it works, how it is implemented and identify variations from the original standard. Also, this paper gives a performance assessment transmission of data, voice and IP Video, and the analysis of some factors to consider when services are provide in vehicular environments. The study focus is the amendment IEEE 802.11p/WAVE.

KEY WORDS: Vehicular Networks; Wi-Fi; 802.11p

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la tecnología, a través de las redes de telecomunicaciones, busca mejorar distintos entornos de la sociedad. Sin embargo, aún hay áreas que no han sido consideradas o cuentan con servicios de red ineficientes; esto se debe a la falta de estudios, planteamientos erróneos o por simple desconocimiento de las características de cada contexto en particular, de ahí que este documento haga referencia a los entornos vehiculares que son áreas a considerar y se están estudiando para dar soluciones tecnológicas a los sistemas de transporte inteligente (ITS, Intelligent Transportation Systems), que se crean para aplicar las nuevas generaciones en tecnologías de telecomunicaciones, electrónica, informática, sensores y técnicas de procesamiento, almacenamiento y visualización de la información, a las carreteras y al transporte.

Los tres elementos claves involucrados en los comienzos y evolución de los sistemas ITS, ya implantados con éxito o aún en fase de desarrollo, son: la información, las comunicaciones y los vehículos en carretera [1]. Las diferencias técnicas entre redes de telecomunicaciones fijas y móviles [2], tales como el protocolo de acceso al medio, las tramas, los retardos, etc. requieren mayor atención para su implementación en entornos urbanos y viales.

El diseño de una red de acceso inalámbrico para entornos vehiculares (WAVE, Wireless Access in Vehicular Environment) debe establecer una red con la capacidad de soportar servicios de datos, voz y video, además de ofrecer las características requeridas por el usuario. Es por lo anterior, que en éste artículo se presenta como principal aporte, el análisis de viabilidad de la transmisión de datos, voz y video IP a través de redes WAVE basándose en el estudio del desempeño en la capa MAC, puesto que normalmente una buena calidad de audio y/o video depende de elementos tales como el throughput, el retardo y la pérdidas de paquetes dentro del marco de trabajo de IEEE para la tecnología inalámbrica 802.11p.

A lo largo de este artículo¹ se presenta una descripción de los sistemas de transporte inteligente, las VANET (Vehicular Ad-Hoc Network) y las características que diferencian la enmienda 802.11p respecto al estándar 802.11. Posteriormente se describen los escenarios

¹ Documento derivado del proyecto de Investigación: "Evaluación del Desempeño de Redes 802.11p/WAVE en la Transmisión de Datos, Voz y Video IP", realizado por Antoni Gabriel Caicedo Bastidas y Juan Manuel Martínez Ojeda, para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, bajo la dirección del M. Sc. Guefry Agredo Méndez. El proyecto se encuentra inscrito en el Departamento de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca.

y los resultados obtenidos en [3] de la evaluación del desempeño de redes 802.11p en la transmisión de datos, voz y video IP por medio de simulación realizada con EstiNet/NCTUns 6.0

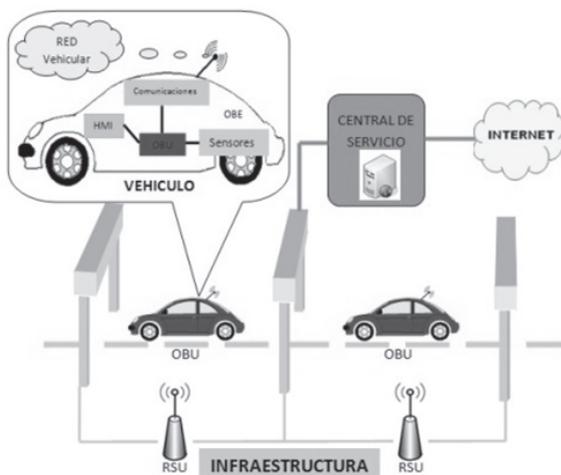
1. ITS, SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE

El concepto ITS, conforma un esfuerzo común entre gobiernos, la industria privada y los centros de investigación, para aplicar las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones en los problemas actuales del transporte mundial [4].

Los principales elementos que se pueden distinguir en los sistemas ITS desarrollados hasta la fecha en el entorno del transporte por carretera, se pueden resumir en los mostrados en la Fig. 1. En ella se pueden observar los principales elementos:

-Vehículo: Este conforma la parte principal dentro de la arquitectura ITS, ya que toda la funcionalidad desplegada se centra en la mejora de su circulación y hacen uso de un conjunto de servicios ITS que están destinados a mejorar su seguridad, hacer más eficiente su circulación y ofrecer un confort mejorado.

FIGURA 1. Sistema ITS en Carretera.



Dentro de este elemento se encuentran todo un conjunto de dispositivos que ayudan a monitorear el vehículo y el entorno en el que se mueve, entre ellos están: Unidad de abordo (OBU, On Board Unit) [5], Interfaz de usuario (HMI, Human Machine Interface), módulo de comunicaciones y sensores.

En dichos sistemas de abordo, es posible incluir el

software necesario para ofrecer una arquitectura escalable, así como para ofrecer servicios que requieran de las comunicaciones con el exterior. Dicho computador de a bordo está ligado a un componente hardware/software de interfaz con el usuario, de forma que el usuario pueda interactuar debidamente con las aplicaciones de la OBU. Las comunicaciones en ambientes vehiculares y la viabilidad de la transmisión de servicios como los de voz y video IP, son elementos fundamentales

- Infraestructura: Está formada tanto por el hardware distribuido a lo largo de las carreteras, como por el hardware centralizado en los nodos de comunicación. El componente fundamental de este elemento es la unidad a un lado de la carretera (RSU, Road Side Unit), como su nombre lo indica, se sitúa a un lado de la carretera, y principalmente, está formado por sensores de diversa índole, tales como: detectores de paso de vehículos, de temperatura, sistemas de reconocimiento de imágenes, radares de velocidad, etc. No obstante, el hardware instalado en la carretera que más está ganando interés en los últimos años es el relacionado con las comunicaciones.

- Central de Servicios: La finalidad de la central de servicios es disponer de las aplicaciones finales. Los servicios que se encuentran en este nivel pueden estar orientados a la gestión centralizada, como es el caso de los sistemas de monitorización y seguimiento, o destinados a la provisión de funcionalidades a los vehículos, como serán los servicios de información de tráfico o de gestión de reservas de parqueaderos, etc.

2. VANET, ANÁLISIS BAJO 802.11p

A. VANET

Las Redes Ad Hoc Vehiculares (VANET, Vehicular Ad hoc Networks), también llamadas Redes de Comunicaciones Vehículo a Vehículo (V2V, Vehicle to Vehicle Communication), se pueden considerar como un caso específico de las MANET tradicionales. En las VANET, los nodos móviles son los vehículos, y debido a su alta movilidad y velocidad, las principales complicaciones provienen de los cambios frecuentes y rápidos de topología de red; pero, también existen algunos aspectos que contribuyen a facilitar la implantación de estas redes, ya que los vehículos en una VANET sólo se mueven en carreteras predeterminadas, además no se tiene el problema de la limitación de recursos en términos de almacenamiento de datos y potencia. Por otra parte, se puede asumir que siempre es posible obtener la posición geográfica del vehículo mediante el uso de GPS, que puede proporcionar sincronización a través de la red.

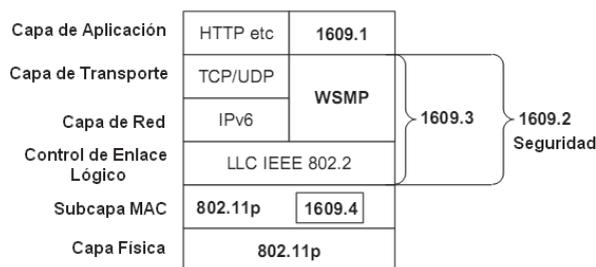
En las VANET se necesitan protocolos MAC que subsanen los problemas existentes en los cambios rápidos de topología [5], como también tener en cuenta los diferentes tipos de servicios y aplicaciones, como aspectos adicionales a las limitaciones de potencia y los problemas de sincronización. Por otra parte, los protocolos MAC han de reducir el tiempo de retardo de acceso al medio, que es importante, por ejemplo, para aplicaciones de seguridad y emergencias.

En general, la cantidad de información a transmitir es relativamente pequeña, pero la fiabilidad de transmisión, así como el retardo y la difusión de paquetes son fundamentales.

B. WAVE

Es la propuesta del IEEE para un sistema estándar de comunicación vehicular. WAVE es una pila de protocolos [7] que tiene soporte para tráfico TCP/IP, así como protocolos de transporte, red y de aplicación, ver Fig. 2 [8].

FIGURA 2. Visión General de la Pila de Protocolos WAVE.



C. ESTÁNDAR IEEE 802.11P

IEEE 802.11p, actualiza y expande el estándar IEEE 802.11a con modificaciones a nivel físico y MAC para mejorar su comportamiento en el entorno cambiante como lo es el vehicular. Al igual que IEEE 802.11a, IEEE802.11p utiliza la Multiplexación por División en Frecuencias Ortogonales (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing) pero con tasas de transmisión de 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, y 27 Mbps en canales de 10 MHz, aunque puede alcanzar tasas hasta de 54 Mbps con canales de 20 MHz [9]. Utiliza 52 sub-portadoras moduladas utilizando BPSK, QPSK, 16-QAM o 64-QAM así como codificaciones con tasas de 1/2, 2/3, o 3/4.

La frecuencia de 5,9 GHz dedicada para comunicaciones inalámbricas de corto alcance en el acceso en entornos vehiculares de comunicaciones dedicadas

de corto alcance (DSRC/WAVE Dedicated short-range communications/Wireless Access in Vehicular Environment, en adelante simplemente WAVE), permite comunicaciones inalámbricas vehículo a vehículo (V2V), y vehículo a infraestructura (V2I). Las entidades principales que interactúan dentro de las comunicaciones y de la red en sí misma, son:

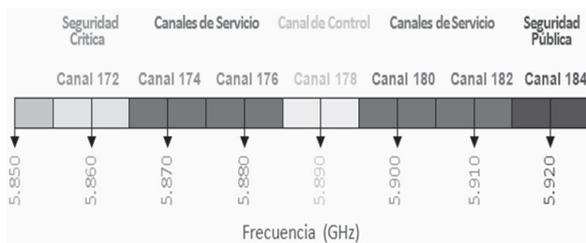
- Unidad Abordo (OBU): las OBU están inmersas en los vehículos y por lo general son las que reciben los servicios provistos por las RSUs, pero pueden ser proveedoras de servicios en determinados casos.

- Unidad al Lado de la Carretera (RSU): Las RSUs están inmersos en los elementos de infraestructura tales como señales de tráfico y postes de alumbrado público. Los proveedores de información usualmente están en las RSU. Estos se encuentran en sitios específicos y con su respectiva licencia y puede prestar servicios en uno o más canales de servicio.

Respecto al manejo de canales, la norma define 7 canales no traslapados de 10MHz en la banda de los 5.9GHz: 6 canales de servicio (SCH, Service Chanel) y uno de control (CCH, Control Chanel). Para una mejor comprensión obsérvese el diagrama según la Fig. 3 [5].

El CCH se utiliza como canal de referencia para realizar una primera detección de los vehículos cercanos como paso previo al establecimiento de las comunicaciones. Al mismo tiempo, dicho canal permite anunciar los servicios disponibles en los canales SCH (acceso a Internet, descarga de contenidos, etc.). Teniendo en cuenta que el canal CCH es el canal de referencia, IEEE802.11p lo emplea para la transmisión en modo broadcast de mensajes de seguridad vial. SCH permite la transmisión de datos de información relacionada con seguridad, entretenimiento, administración remota y también se podría usar para transferir Voz y Video a través de paquetes IP.

A partir de las diferencias expuestas resalta una que es fundamental entre CCH y SCH, la cual radica en que el primero no usa IP para la transmisión de paquetes. Por lo cual recurre a un protocolo de propósito específico que opera al mismo nivel que IP y que se representa con el acrónimo WSMP (WAVE Short Message Protocol) [9]. WSMP permite una mensajería que toma en consideración las particularidades especiales que define a los entornos de tránsito vehicular y disminuye sustancialmente la carga de los paquetes (reduciendo las cabeceras) para mejorar el flujo en las transmisiones.

FIGURA 3. Estructura del Espectro en 802.11p.

D. CAPA MAC EN 802.11p

El estándar básico de acceso que utiliza WAVE se denomina IEEE 802.11p y se basa en el acceso múltiple por detección de portadora con prevención de colisiones, (CSMA/CA) [10], el cual, se basa también en el modo de priorización de tramas de Acceso al Canal Distribuido Mejorado (EDCA, Enhanced Distributed Channel Access) inicialmente previsto por el estándar IEEE 802.11e, y se utiliza tanto para el acceso en comunicaciones V2I como para V2V, en esquemas de acceso distribuidos y cliente-servidor.

En la actualidad el estándar IEEE 802.11p recomienda valores predeterminados para EDCA, donde 3 representa el más alto nivel de prioridad y 0 el más bajo. Aunque, en el documento oficial se sugiere modificar sus valores de ventana de contención mínima y máxima (aCW min y aCW max) para adaptar el funcionamiento al entorno de operación en concreto.

Las redes inalámbricas basadas en 802.11 se componen de zonas determinadas por el alcance de las comunicaciones fijas de un AP (Acces point). El AP y todos los nodos móviles (MN, Mobile Nodes) asociados a la zona, constituyen un conjunto básico de servicios (BSS, Basic Service Set), donde el AP actúa como un puente para las comunicaciones que establecen todos los MNs en el BSS. Entonces cuando un MN deja un BSS para unirse a otro, se establece un proceso que conduce a la ejecución de un protocolo que se divide en tres fases, este proceso se denomina handover y a continuación se describen sus fases:

- Fase de Detección: la necesidad de un handover debe ser conocido primero por el MN. La forma de hacerlo no se especifica en la norma, pero por lo general, se lleva a cabo un control de la cantidad de paquetes de datos consecutivos no-reconocidos o cuando se detecta que la intensidad de la señal o la relación señal-ruido pasa por debajo de un umbral determinado.

- Fase de Búsqueda: en la fase de búsqueda un MN intenta encontrar un nuevo punto de acceso. Esto se

puede hacer pasivamente, escuchando el beacon² de un AP. Dependiendo del período del beacon y del número de canales de frecuencia, que el MN tiene para sintonizar en su búsqueda, esta fase puede tardar hasta 1 segundo.

- Fase de Ejecución: Aquí, el handover se realiza efectivamente a través del intercambio de solicitudes de autenticación, asociación y respuestas del MN y el nuevo punto de acceso.

La mejora que hace la enmienda IEEE 802.11p se encuentra en la rápida adaptación a los continuos cambios que ocurren en una red de vehículos de gran movilidad, sacrificando procedimientos de identificación y autenticación que suelen ser parte del estándar WLAN 802.11. Para hacer más eficiente el intercambio de datos entre los vehículos de alta velocidad o entre un vehículo y una RSU, IEEE 802.11p especifica un proceso con el ánimo de reducir al mínimo los parámetros para la fase de ejecución del proceso de handover.

Con la intención de aclarar y resumir los cambios existentes que hay entre 802.11 y 802.11p es preciso tener en cuenta la norma IEEE 802.11a que es la tecnología de la cual evoluciona IEEE 802.11p, por tanto se hace una comparación de estas dos normas en la tabla 1.

TABLA 1. Comparación entre 802.11a y 802.11p.

Características	802.11a	802.11p
Velocidad de Tx Mb/s.	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54	3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24 y 27
Modulación.	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM.	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM.
Tasa de Codificación.	1/2, 1/3, 3/4	1/2, 1/3, 3/4
Número de Subportadoras.	52 (= 48+4)	52 (= 48+4)
Longitud de Símbolo OFDM.	4 useg.	8 useg.
Tiempo de Guarda.	0.8 useg.	1.6 useg.
Periodo FFT.	3,2 useg.	6,4 useg.
Duración de Preámbulo.	16 useg.	32 useg.
Frecuencia	5 GHz	5,9 GHz
Ancho de Banda Utilizado	300 MHz	70 MHz
Espaciamiento en frecuencia de subportadoras.	0,3125 MHz.	0,15625 MHz.
Fase de Ejecución Capa MAC.	Identificación, Autenticación.	No Identificación, No Autenticación.
Número de Canales	12	7
Ancho de Banda por Canal	20 MHz	10 MHz

² Las tramas beacon contienen la información necesaria para identificar las características de la red y poder conectar con el punto de acceso deseado.

3. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Luego de conocer las principales características y limitaciones de este nuevo tipo de redes, se hizo una evaluación de los escenarios representativos de Colombia a nivel urbano, ya que en este entorno es donde se vislumbran los principales problemas de movilidad, seguridad y accidentalidad.

Para identificar y construir los diferentes escenarios de simulación se tuvieron en cuenta los estándares que actualmente se aplican a las redes vehiculares como es el IEEE 802.11p y la importancia que pudieran tener servicios de voz, video IP y datos en un momento dado para apoyar los requerimientos de los ITS. El proceso de simulación y descripción de escenarios se basa en buscar las características de funcionamiento del estándar 802.11p, analizando cómo se afecta la comunicación entre vehículos debido a parámetros como la velocidad de los móviles, distancia de cobertura, número de vehículos en la red y tipo de servicio (datos, voz y/o video IP).

Para realizar la simulación de los escenarios seleccionados y determinar sus alcances, fue necesario conocer la herramienta de simulación; para este proyecto se seleccionó el simulador NCTUns 6.0 debido a que lleva incluido el módulo de redes vehiculares; en éste se encuentran integrados simuladores de tráfico y movilidad, lo que permite una simulación más real, integral y confiable.

Las pruebas a realizar se hacen sobre entornos idealizados, es decir, sin tener en cuenta aspectos como: obstáculos, pérdidas de propagación e interferencias. Se hacen de esta forma ya que se está iniciando el análisis y exploración de este tipo de redes vehiculares, y la viabilidad de los servicios de datos, voz y video IP, en las mismas. En cuanto al tráfico modelado, es tráfico de tasa de bit constante (CBR, Constant Bit Rate). El tamaño de paquete se toma de acuerdo al escenario a simular, lo mismo que su frecuencia de transmisión.

Considerando los rangos típicos de transmisión de los AP y la situación legal en cuanto a la emisión de energía electromagnética en entornos urbanos mediante tecnologías Wi-Fi en territorio colombiano [11] se bajará con 1 W como máxima potencia de transmisión.

A. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

Con el fin de determinar el comportamiento de las redes vehiculares en entornos urbanos, se escogieron diferentes escenarios los cuales permitieron evaluar algunos aspectos relevantes en el estándar 802.11p.

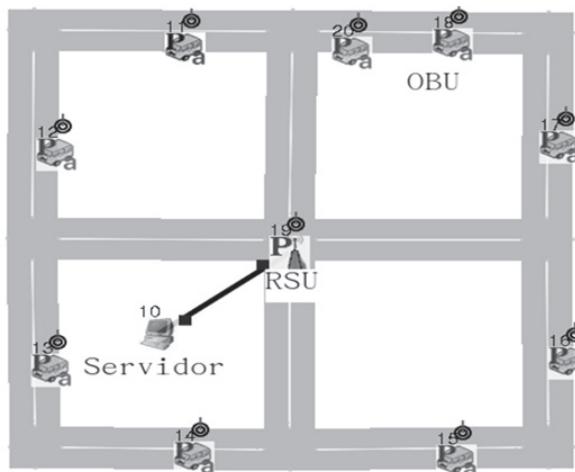
1. Escenario 1: Velocidad y cobertura en 802.11p

En esta primera simulación se evaluó la influencia de la velocidad del vehículo y la cobertura (distancia de separación entre el receptor y el emisor), en un enlace unicast en un escenario V2I, sobre las variables throughput, retardo y pérdida de paquetes al variar la velocidad y el radio de cobertura de los vehículos, utilizando la enmienda 802.11p.

En el sub-escenario 1 se evaluó el impacto del aumento de la velocidad en un escenario con cobertura garantizada, de igual manera en el sub-escenario 2 se evaluó el impacto al variar el radio de cobertura, a velocidad constante (40 Km/h), sobre las variables, ver Fig. 4.

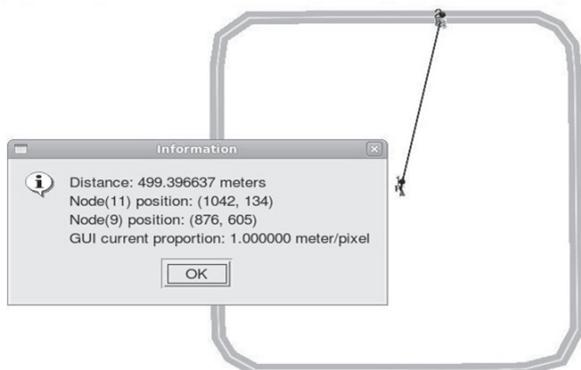
En estos dos sub-escenarios se escogió un paquete de 1450 bytes (MTU < 1500 bytes) cada 10 ms, para simular la más alta condición de sobrecarga que se puede establecer en UDP bajo las condiciones del simulador, además de que éste solo permite medir pérdida de paquetes y retardo bajo el uso de UDP, y no TCP.

FIGURA 4. Escenario 1 en NCTUns 6.0



2. Escenario 2: Transmisión de datos pura entre vehículo e infraestructura en 802.11p

En esta simulación se presenta la transferencia de datos, usando un enlace punto multipunto entre una RSU y varias OBU, Fig. 5, bajo el protocolo TCP y se hace el análisis de cómo se afecta el throughput, cuando se incrementa el número de OBUs.

FIGURA 5. Escenario 2 en NCTUns 6.0 con múltiples OBUs

Aquí van considerados también los mensajes de control y la sobrecarga debida a los protocolos. Puesto que el tráfico de datos aquí expuesto es genérico sin ninguna limitante.

3. Escenario 3: Transmisión de voz IP pura entre vehículo e infraestructura en 802.11p

Este escenario evalúa el desempeño de una red bajo 802.11p cuando se transmite voz IP, para ello se implementan dos codecs de voz con el fin de caracterizar mejor el tráfico para servicios realistas.

En la simulación se presentan 2 sub-escenarios de transmisión de voz, el primero usando un enlace punto multipunto entre una RSU y varias OBU bajo el protocolo UDP y utilizando el Códec G.711, se analiza cómo se afecta el throughput, la pérdida de paquetes y el retardo en una OBU, cuando se incrementa el número de OBUs. Igualmente se simula el segundo sub-escenario pero utilizando el Códec G.729.

4. Escenario 4: Transmisión de video IP pura entre vehículo e infraestructura en 802.11p

En esta simulación se presenta un escenario con transmisión de video IP, bajo el protocolo UDP y utilizando el códec MPG-4 versión 10 o H.264/AVC, usando un enlace punto multipunto entre una RSU y varias OBUs, se analiza cómo se afecta el throughput, la pérdida de paquetes y el retardo en una OBU, cuando se incrementa el número de OBUs. La configuración del códec se escoge en base a las características del servicio de video llamada utilizado en telefonía celular, debido a que es la configuración más pequeña en cuanto a tamaño de paquete y que brinda un buen servicio. Además se tiene en cuenta el anterior análisis de voz, donde el mejor desempeño se da cuando la exigencia de ancho de banda es menor y también por la similitud de

las características del tráfico utilizado. En la tabla II [12] se resume la configuración del códec.

Debido a que no se han encontrado recomendaciones de desempeño por parte de organismos de estandarización en la transmisión de Video IP sobre redes de datos, este trabajo se acoge a la recomendación de desempeño para servicios en tiempo real como la ITU-T G.1010, pero además se ha investigado la naturaleza del ojo humano de donde se obtuvo que al mirar un video de forma fluida el ojo percibe hasta 24 frames por segundo y a partir de aquí el ojo no nota los cambios [13] - [14]

TABLA 2. Configuración del códec MPG-4

Tamaño de pantalla en pixeles	176 x 144 = 25344 pixeles.
Frames ³ por segundo	30 según formato NTSC ⁴ , utilizado en gran parte de América, incluido Colombia.
Número de bits por pixel	16, color verdadero.
Carga útil sin comprimir	25344 x 16 = 405504 bits.
Factor de Compresión	60, este factor podría ir desde 1 a 200 [15]
Carga útil	405504/60 = 6758 bits = 6768/8 = 844 bytes

5. Escenario 5: Transmisión de voz, video IP y datos, entre vehículo e infraestructura en 802.11p.

Para brindar un buen servicio y desempeño por celda en distintos enlaces de comunicaciones bajo la norma 802.11p, se busca determinar la cantidad de sesiones de voz, video IP y datos que pueden coexistir en un momento dato prestando un servicio de calidad aceptable, por lo cual se hará uso del mecanismo EDCA que la norma 802.11p posee como soporte para la diferenciación de servicios y aplicación de QoS, por lo tanto se toma un número de sesiones de video conferencia (video y voz) igual al número soportado en el análisis de video IP ya que éste muestra la carga de tráfico más cercana en similitud de ancho de banda, además se carga un tráfico adicional de datos en TCP para intentar saturar la red y comparar el desempeño de los servicios en la red, sin QoS y utilizando QoS.

³ Se denomina frame en inglés, a un fotograma o cuadro, una imagen particular dentro de una sucesión de imágenes que componen una animación. La continua sucesión de estos fotogramas producen a la vista la sensación de movimiento, fenómeno dado por las pequeñas diferencias que hay entre cada uno de ellos.

⁴ NTSC: Comité Nacional de Estándares de Televisión (del inglés National Television System Committee).

6. Escenario 6: Análisis y comparación en el desempeño cuando existe cambio de celda (handover) entre 802.11b y 802.11p.

En la Fig. 6 se observa que en el recorrido de la OBU existe una zona en la cual se produce el cambio de celda, aquí existe la influencia de dos RSU sobre la OBU que se encuentra en ella, al avanzar la OBU experimenta una degradación de señal proveniente desde el campo de cobertura de la RSU que se abandona y también se experimenta el incremento en la intensidad de la señal del campo de cobertura de la RSU al que se está ingresando; el objetivo es comparar el desempeño existente entre la enmienda 802.11p y la enmienda 802.11b⁵, en el proceso de handover [16] con la medición de pérdida de paquetes, retardo y throughput en el mismo escenario y en igualdad de condiciones.

FIGURA 6. Escenario para handover



En este caso no se configura ningún protocolo de enrutamiento puesto que la herramienta de simulación no permite su configuración cuando se utilizando nodos 802.11p y por tanto se compara bajo iguales condiciones en las dos enmiendas.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

En todos los casos se presentan las métricas evaluadas, como son: el throughput, el retardo y las pérdidas de paquetes, posteriormente se hace análisis de los resultados obtenidos de cada prueba de simulación del lado del receptor.

⁵ Enmienda que se utiliza por condiciones del simulador y porque es la que más se utiliza en Vanets después de 802.11p, dentro de la tecnología WIFI.

A. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE VELOCIDAD Y COBERTURA EN 802.11p.

1. Sub-escenario 1: según la Fig. 7 y 8 se puede apreciar que la velocidad no denota cambios sustanciales que puedan influir en el desempeño de la red a la hora de transmitir cualquier tipo de servicio, en la Fig. 7, el throughput se mantiene relativamente constante en el orden de 1.132.812 bps, la pérdida de paquetes es aproximadamente nula 0% y el retardo promedio, en la Fig. 9, se mantiene en 16,7 ms.

Aunque la enmienda se creó con el fin de mejorar la eficiencia de los escenarios móviles en los que los cambios se dan muy rápidamente, se podría pensar que la velocidad no incide directamente sobre efectos importantes en el desempeño de la red, pero la justificación de la creación de la enmienda hace referencia a que los cambios se dan sustancialmente en cuanto a: obstáculos, interferencias, cobertura y en cuanto al aumento de la probabilidad en la aparición de fenómenos como: terminal escondido y terminal expuesto que se pueden dar más rápidamente y con mayor frecuencia que en un escenario convencional. De aquí que la velocidad si juega un papel importante en el comportamiento de la red ya que incide indirectamente al aumentar los riesgos de pérdida de señal continuamente y en intervalos muy cortos de tiempo.

FIGURA 7. Throughput vs Velocidad en 802.11p.

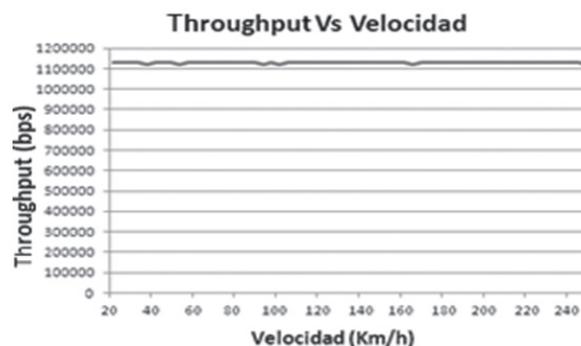
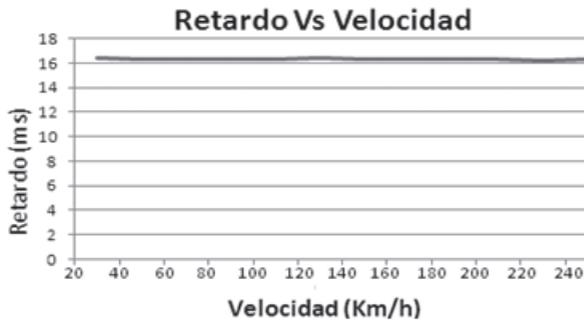


FIGURA 8. % de Pérdida de Paquetes vs Velocidad en 802.11p.



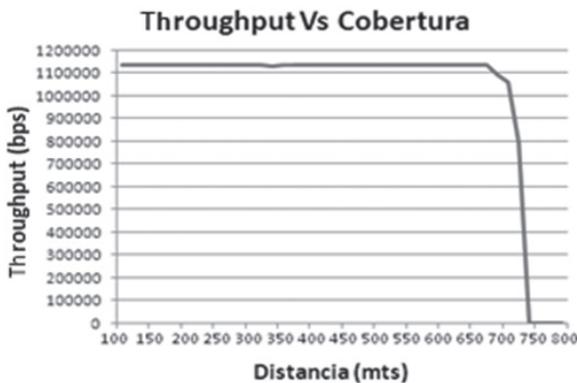
FIGURA 9. Retardo vs Velocidad en 802.11p.



En las figuras de la 7 a 9 12 se deja en claro que estos resultados se deben al escenario ideal planteado, pues, el efecto Doppler aumenta la probabilidad de error. A mayor velocidad la probabilidad de error aumenta y el throughput disminuye. Por tanto, se aclara que la validez está sujeta al modelo, y no se generaliza para escenarios reales.

2. Sub-escenario 2: a pesar de que IEEE 802.11p cuenta con altas velocidades de transmisión de datos presenta una desventaja relacionada con su limitado rango de cobertura. Para sobrellevar esto, el estándar cuenta con la opción de cambio dinámico de velocidad (DRS, Dynamic Rate Shifting)[17] que permite ampliar la cobertura a unos metros adicionales a cambio de una variación abrupta en la velocidad de transmisión de datos, razón por la cual 802.11p posee diferentes velocidades de transmisión que se adaptan de acuerdo a las condiciones del medio. Lo anterior está estrechamente relacionado con la variación del throughput el cual también disminuye y por lo tanto reduce la capacidad del sistema. Sin embargo, en la Fig.10 se ilustra lo contrario ya que el throughput de la estación receptora, cuya medida se tomó cada 50 mts de distancia, se mantiene relativamente constante y presenta una disminución a partir de las distancias cercanas a 740 mts.

FIGURA 10. Throughput vs Cobertura en 802.11p.



Este comportamiento se puede abordar considerando dos aspectos, el primero está relacionado con la incapacidad del simulador de realizar un cambio automático de velocidad de transmisión por lo que debe realizarse manualmente y el segundo, el simulador sólo registra la variación del throughput para la velocidad de transmisión escogida, en este caso 27 Mbps. Por lo tanto, debido a la configuración de las calles en las ciudades colombianas, se decidió trabajar con radios inferiores a 700 mts de cobertura. Igualmente se puede observar en la Fig. 11, que el porcentaje en la pérdida de paquetes se mantiene constante hasta que la distancia de separación es cercana a los 740 mts, donde el cambio es bastante notorio, así también la variación del retardo solo es perceptible en los límites de los 740 mts, según la Fig. 12, ya que estos tres parámetros están estrechamente relacionados.

FIGURA 11. % de Pérdida de Paquetes vs Cobertura en 802.11p.

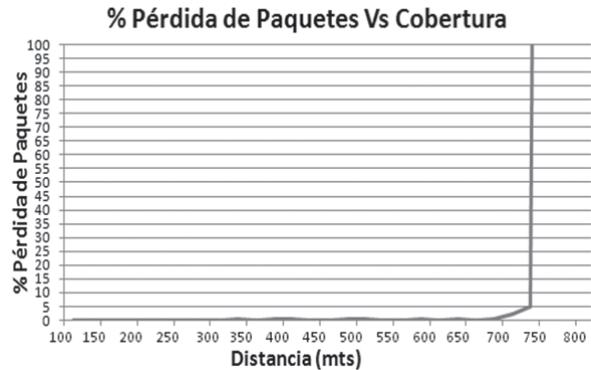
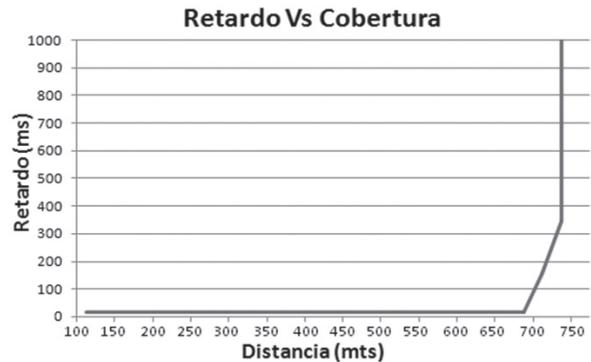


FIGURA 12. Retardo vs Cobertura en 802.11p.



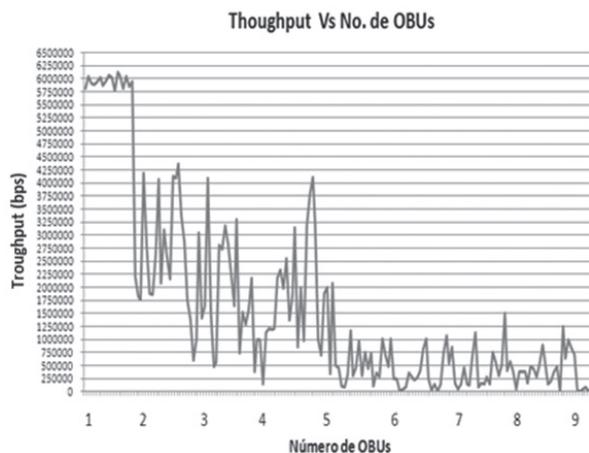
En las figuras de la 10 a la 12 se deja en claro que estos resultados se deben al escenario ideal planteado. Con una variación de distancia de casi 600 mts se deben notar cambios en el retardo, más aun con las velocidades

de transmisión y con efectos de multitrayectoria. Por tanto, se aclara que la validez está sujeta al modelo del sistema, y no se generaliza para escenarios reales.

B. ESCENARIO 2: TRANSMISIÓN DE DATOS PURA ENTRE VEHÍCULO E INFRAESTRUCTURA EN 802.11p

Se observa en la Fig. 13, que a partir de la introducción de la segunda OBU el throughput promedio en cada OBU existente, disminuye gradualmente, este es un comportamiento esperado ya que el tráfico de información se divide entre el número de usuarios de la red y experimenta variaciones debidas a la naturaleza cambiante del entorno móvil, pero de igual forma se puede apreciar que a partir de la introducción de la novena OBU, el nivel del throughput promedio decae a niveles indeseados hasta el punto de saturar la red, perturbando cualquier servicio ya establecido en ella.

FIGURA 13. Throughput vs No. de OBUs.



C. ESCENARIO 3: TRANSMISIÓN DE VOZ IP PURA ENTRE VEHÍCULO E INFRAESTRUCTURA EN 802.11p

1. Sub-escenario 1: en la Fig. 14, se puede apreciar como a medida que se involucran más OBUs, cada uno con una llamada de voz establecida, la pérdida de paquetes aumenta lentamente hasta alcanzar 14 OBUs, pero a partir de las 15 OBUs la pérdida aumenta de forma rápida, superando el umbral del 3% de paquetes perdidos, que conlleva a una probabilidad muy alta de que las llamadas sean cortadas inesperadamente, pues la referencia para establecer un buen servicio de voz según la recomendación ITU-T G.1010 estipula tener una pérdida por debajo del umbral.

FIGURA 14. % de Pérdida de Paquetes vs Número de OBUs en Enlace Punto Multipunto de Voz con códec G.711.



También se observa, que entre las 13 y 14 OBUs el throughput se desestabiliza pero la pérdida y el retardo de los paquetes aún están entre los límites de aceptación del servicio de voz, también se ve que el throughput de cada llamada se ve afectado enormemente a partir de las 15 OBUs, según la Fig. 15, desde aquí las llamadas se harían ininteligibles o entrecortadas, por la falta de datos. La voz con este códec debe tener 50 tramas por segundo. Esto deja un tiempo máximo de compresión / descompresión de 40 ms (aunque puede ser menor). Restando a 150 ms deja un retardo máximo de 110 ms para la transmisión en la red; asumiendo que la ruta da tres saltos WLAN-WAN-WLAN o LAN-WAN-WLAN y ya que los elementos de red (routers, switches, etc.) contribuyen al retardo, queda un máximo aceptable de 30 a 35 ms por salto.

Aunque estos cálculos son aproximados y dependerían de muchos otros factores, sirven como una referencia a los problemas de la transmisión. Aunque el retardo para las 15 OBUs aún se encuentra en el rango admitido por la recomendación ITU-T G.1010, según Fig. 16, el servicio prestado bajo las condiciones de pérdidas ya expuestas sería de mala calidad a partir de ese número de OBUs.

FIGURA 15. Throughput vs Número de OBUs en Enlace Punto Multipunto de Voz con códec G.711.

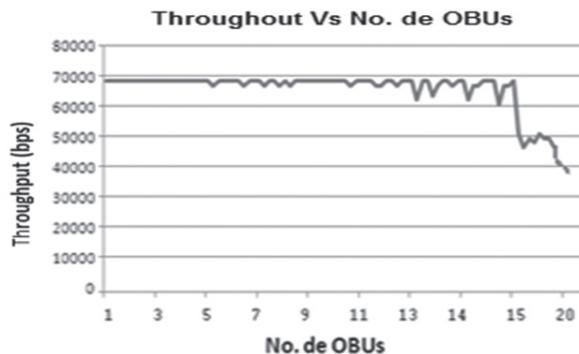
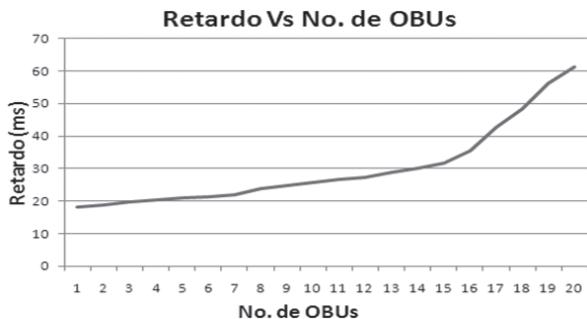
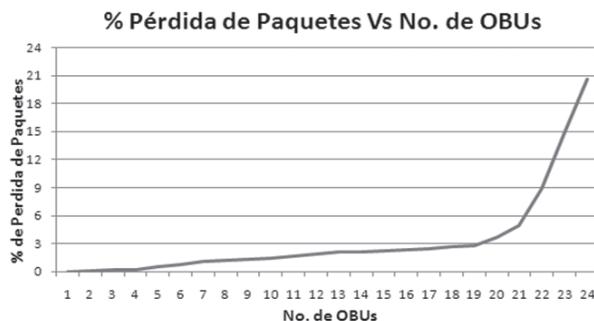


FIGURA 16. Retardo vs Número de OBU en Enlace Punto Multipunto de Voz con códec G.711.



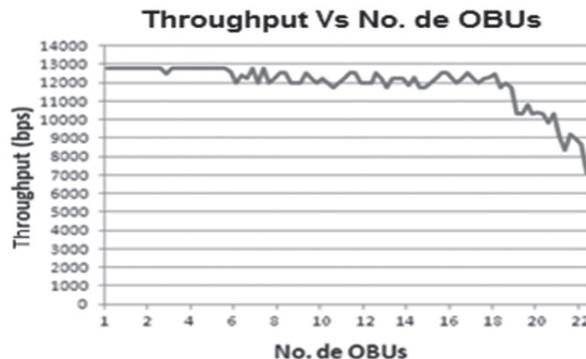
2. Sub-escenario 2: se puede apreciar como a medida que se involucran más OBU la pérdida de paquetes aumenta lentamente hasta alcanzar 18 OBU, pero a partir de las 19 OBU la pérdida aumenta de forma rápida superando el umbral del 3% de paquetes perdidos, ver Fig. 17, lo que conlleva a que las llamadas sean cortadas inesperadamente, pues la referencia para establecer un buen servicio de voz según ITU-T G.1010 estipula tener una pérdida por debajo del umbral.

FIGURA 17. % de Pérdida de Paquetes vs Número de OBUs en Enlace Punto Multipunto de Voz con códec G.729.



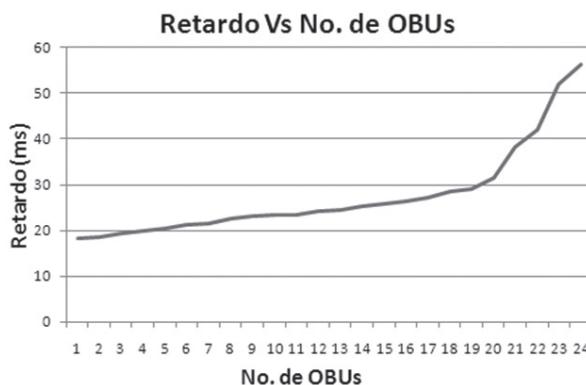
Se observa, Fig. 18, que entre las 6 y 18 OBU el throughput se desestabiliza levemente y no afecta sustancialmente la calidad del servicio de voz, además la pérdida de paquetes y el retardo, Fig. 19, están dentro de los límites de aceptación del servicio, el throughput de cada llamada se ve afectado enormemente a partir de las 19 OBU, aunque el retardo aún se encuentra dentro del rango admitido, según Fig. 19, el servicio prestado bajo las condiciones de pérdidas ya expuestas sería de mala calidad a partir de las 19 OBU, por las razones mencionadas anteriormente en el sub-escenario 1 de este apartado.

FIGURA 18. Throughput vs Número de OBUs en Enlace Punto Multipunto de Voz con códec G.729.



En estos 2 sub-escenarios se observó que la diferencia en los niveles de throughput es notable debido a que el tamaño de la carga útil del códec G.729 es muy bajo comparado con el de G.711, sin embargo, el comportamiento de esta variable, ver Fig. 18, demuestra que su variación es más lenta a medida que aumenta el número de estaciones. Esto demuestra como el bajo ancho de banda consumido por el códec G.729 influye sobre la capacidad del sistema. Sin embargo, a pesar de contar con tiempos de ocupación muy bajos, en la misma Fig. 18 se puede observar cómo a medida que el número de estaciones que transmiten se acerca a 19 el valor del throughput comienza a decrecer. En este caso el número de estaciones juega un papel importante ya que la competencia por el medio es cada vez más difícil y por lo tanto el retardo es cada vez mayor.

FIGURA 19. Retardo vs Número de OBUs en Enlace Punto Multipunto de Voz con códec G.729.

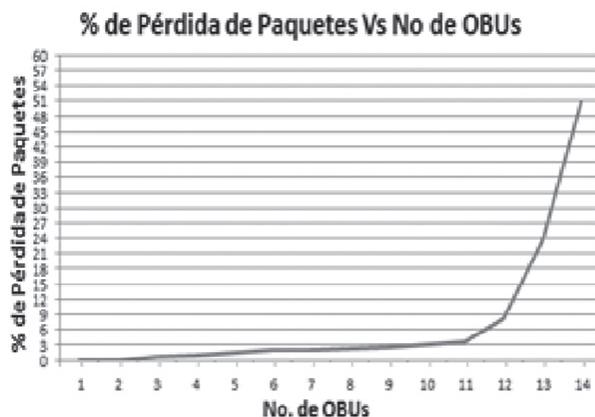


D. ESCENARIO 4: TRANSMISIÓN DE VIDEO IP PURA ENTRE VEHÍCULO E INFRAESTRUCTURA EN 802.11p

1. Sub-escenario 1: en la Fig. 20 se observa que a partir de la introducción de la décima OBU, la pérdida de paquetes

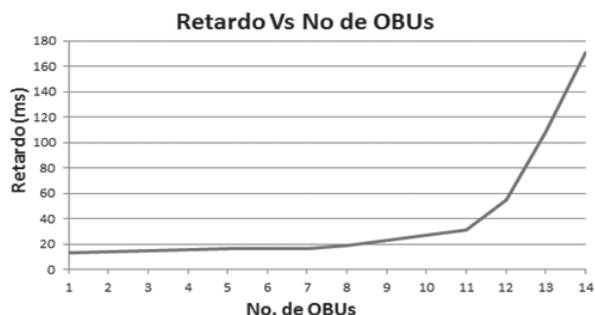
es de 3,23%, por lo cual se supera el umbral del 3%, de la recomendación ITU-T G.1010 para servicios en tiempo real, según esto, el servicio ya presenta inconvenientes para la transmisión de un servicio de calidad.

FIGURA 20. % de Pérdida de Paquetes vs Número de OBU's en Enlace Punto Multipunto de Video IP.



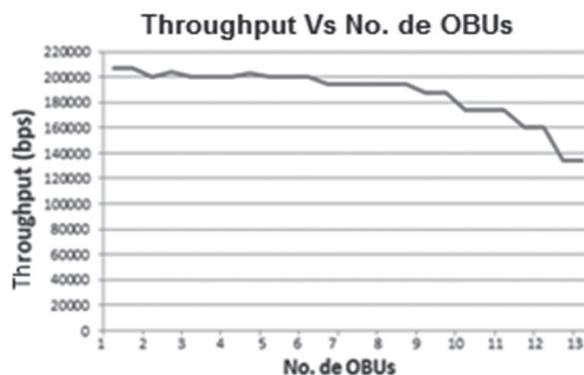
También se puede concluir que la transmisión es de 30 tramas por segundo, que para este caso son 30 paquetes por segundo, por lo tanto el ojo humano solo detecta cambios si la frecuencia es inferior a 24 fps, entonces la pérdida aceptable de paquetes (tramas) es del 20%, incrementando el umbral de la recomendación de la ITU-T, de tal forma que se podría pensar en introducir hasta doce OBU's en donde la pérdida de paquetes es de 8,13% (porque el de las trece OBU's es de 23,61%, además, en la Fig. 21, se puede ver que el retardo de la décima segunda OBU es de 55,12 milisegundos, y según lo planteado en el apartado anterior el retardo debe ser inferior a 35 milisegundos, entonces esto limita a once el número de OBU's para la prestación del servicio de video IP, ya que el retardo de los once OBU's es de 31,53 ms y no se vería afectada la fluidez del video y por tanto la calidad del servicio.

FIGURA 21. Retardo vs Número de OBU's en Enlace Punto Multipunto de Video IP.



En cuanto al throughput, Fig. 22, se observa que a medida que se incrementa el número de OBU's su nivel disminuye gradualmente.

FIGURA 22. Throughput vs Número de OBU's en Enlace Punto Multipunto de Video IP.



E. ESCENARIO 5: TRANSMISIÓN DE VOZ, VIDEO IP Y DATOS, ENTRE VEHÍCULO E INFRAESTRUCTURA EN 802.11p.

Como se analizó anteriormente, el códec de voz que brinda mejor desempeño es el G.729, de donde se obtuvo que se pueden soportar hasta 18 sesiones sin problemas. También se analizó que las sesiones de video IP que se soportan en 802.11p son de 11, por lo tanto un servicio completo de videoconferencia sería el que establezca igual número de sesiones de voz, video IP y datos.

1. Sub-escenario 1: los tres servicios compiten por acceso al medio en igualdad de condiciones, por lo tanto las mediciones de la tabla III, los presentan como servicios en malas condiciones, en retardo, pérdida de paquetes y throughput.

TABLA 3. Voz, Video IP y Datos sin QoS y con transmisión simultánea.

	Voz	Video	Datos
Retardo (ms)	44,79	37,56	-----
% Pérdida de Paquetes	22,29	22,16	-----
Throughput (bps)	9956	160960	10442

2. Sub-escenario 2: los tres servicios compiten por el acceso al medio con diferentes niveles de prioridad y es por lo cual las mediciones de la tabla IV los presentan como servicios en mejores condiciones que los de la tabla V, pero no a todos, el servicio de datos se ve mayormente

afectado ya que su nivel de prioridad es inferior al de los demás, además bajo estas condiciones el desempeño de la voz y el video IP es mejor que el analizado anteriormente en los apartados C y D para igual número de OBUs, esto se debe a que en los anteriores casos los demás servicios de voz para el caso de C compiten en iguales condiciones de prioridad, igualmente para el video IP en D, y en este sub-escenario la prioridad es diferente e inclusive superior.

TABLA 4. Voz, Video IP y Datos con QoS y con transmisión simultánea.

	Voz	Video	Datos
Retardo (ms)	23,55	21,81	-----
% Pérdida de paquetes	0,54	4,25	-----
Throughput (bps)	12498	193015	2828

Entre las características más notables del estándar 802.11p se encuentra la capacidad de proporcionar un tratamiento privilegiado a las aplicaciones como voz y video frente a las aplicaciones de datos. Esto se puede apreciar al comparar las tablas III y IV en donde se observa que para once OBUs con tráfico de voz, video IP y datos soportado por una RSU se ve afectado si no se utiliza QoS. Sin embargo, cuando existen 11 OBUs simultáneamente el throughput de este último se deteriora aún más cuando se utiliza QoS, puesto que la frecuencia de ocupación del medio por parte de los servicios AC_Voz[3] y AC_Video[2] aumenta considerablemente al transmitir tramas con mayor prioridad.

F. ESCENARIO 6: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN EN EL DESEMPEÑO CUANDO EXISTE CAMBIO DE CELDA (HANDOVER) ENTRE 802.11b Y 802.11p.

1. Sub-escenario 1, handover en 802.11b: los datos recopilados en la tabla V se toman del grupo de datos de medición que se identifican al inicio y al final del proceso de handover, la identificación se detecta cuando se produce un cambio abrupto en los datos que mantienen un margen constante en su variación y por el intervalo de tiempo en el cual sucede el ingreso y salida de la OBU en el sector de cambio de celda. Este proceso se repite en el siguiente sub-escenario.

TABLA 5. Medición de desempeño en proceso de handover con 802.11b.

	Mínimo	Máximo
Retardo (ms)	998	1213
Paquetes Perdidos	92	
Throughput (bps)	226562	

2. Sub-escenario 2, handover en 802.11p: se realiza, un proceso similar al del anterior sub-escenario. Al comparar las tablas V y VI, se aprecia que el proceso de handover en 802.11p se realiza de mejor manera, pues está es la ventaja principal a la cual le apuntan los diseñadores de la nueva enmienda, por lo cual se han suspendido los procesos de autenticación y asociación que hacen parte del proceso de handover en las enmiendas derivadas de 802.11, de ahí que se tiene un mejor desempeño. Comparando los datos obtenidos en los dos sub-escenarios se podría decir que 802.11b ofrece aproximadamente un 80% del desempeño de 802.11p en el proceso de handover.

TABLA 6. Medición de desempeño en proceso de handover con 802.11p.

	Mínimo	Máximo
Retardo (ms)	678	945
% Pérdida de Paquetes	71	
Throughput (bps)	328956	

5. CONCLUSIONES

Mediante el estudio del estándar 802.11p y del impacto de la elección del tamaño de la carga útil para la voz, el video IP y datos sobre el ancho de banda se puede realizar una estimación experimental del número de OBUs que cada RSU puede soportar con servicio de datos, voz y video, para tener así el dimensionamiento del servicio sobre una celda WAVE.

Es notorio que el throughput se ve afectado con el protocolo de transporte que se utilice. Cuando es TCP los valores de throughput tienden a ser mayores porque el medio no posee ninguna restricción y control. En cambio en UDP son menores debido a que hay garantía en cuanto a tamaño de paquete y frecuencia de envío, puesto que se predeterminan para cada servicio, pero además en el momento de priorizar el tráfico sucede lo contrario, dejando a los datos que utilizan TCP por debajo, pues, estos poseen menor prioridad de acceso al medio y además disponen de un control de errores y de entrega de los paquetes de datos produciendo una sobrecarga de información. Mientras que el protocolo UDP presenta valores más altos de throughput, pues tiene mayor prioridad y en algunos casos no se tiene la confiabilidad en la entrega de los paquetes, se acepta un margen de error.

A nivel de una celda, cuya RSU tiene un patrón omnidireccional, un adecuado radio de cobertura se da cuando este es inferior a 740 mts bajo el cual la capacidad de la celda se ve afectada según el tipo de códec utilizado presentando el códec G.729 un mejor desempeño debido al

bajo consumo de ancho de banda. De la misma manera, se dedujo la importancia del efecto del retardo a medida que se aumenta el número de estaciones y cómo estos tres parámetros están estrechamente relacionados.

Como casi en todas las figuras los problemas comienzan a aparecer alrededor de la 16 usuarios de manera exponencial, sería bueno ver qué pasa si se aumenta el tamaño de la buffers de los Access Points, probablemente soporte más OBUs antes de tener ese crecimiento exponencial. Esto es un comportamiento típico de una cola FIFO, lo cual muestra también que esos efectos no se deben al canal radio sino que se deben a los buffers. Esto indica que tal vez deban hacerse pruebas con otro simulador que incluya los efectos del canal radio

Se deja en claro que los resultados obtenidos aplican sólo para el modelo asumido en el marco del escenario ideal planteado, lo que da posibilidad de trabajos futuros sobre este mismo tema.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado en el marco de desarrollo del proyecto "Evaluación del Desempeño de Redes 802.11p/WAVE en la Transmisión de Datos, Voz y Video IP" Los autores sus agradecimientos a la Universidad del Cauca, al Departamento de Telecomunicaciones y al Grupo de I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones – GNTT adscrito a la Vicerrectoría de Investigaciones de Unicauca.

6. REFERENCIAS

- [1] ITS, "Vehicle Infrastructure Integration Proof of Concept Executive Summary" The VII Consortium .May 19, 2009 Disponible en: <http://www.its.dot.gov/index.htm>
- [2] F. Kuhlmann y A. Alonso, "Información y Telecomunicaciones". Fondo de cultura económica. México. Disponible en: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx>
- [3] A. Caicedo, J. Martínez, G. Agredo. "Evaluación del Desempeño de La Transmisión de Voz y Video IP en Redes 802.11p/Wave". Tesis. Universidad del Cauca. Colombia. 2011
- [4] W. Barfield y T.A. Dingus, "Human Factors in Intelligent Transportation Systems". Lawrence Erlbaum Associates, United Kingdom, 1998.
- [5] M.S. Grewal, L.R. Weill, and A.P. Andrews, "Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration", Wiley, USA, Segunda edición, 2007.
- [6] Institute of Electrical and Electronic Engineers, "IEEE Std 1609.4, Trial-use standard for WAVE - Multi-channel Operation", IEEE Vehicular Technology Society, Noviembre 2006.
- [7] K. Bilstrup, "A Survey Regarding Wireless Communication Standards Intended for a High-Speed Vehicle Environment," Technical Report IDE 0712, Halmstad University, Sweden, Febrero. 2007
- [8] R. Bruno, M. Conti y E. Gregori, "Mesh Networks: Commodity Multihop Ad-Hoc Networks," IEEE Communications Magazine, Marzo 2005.
- [9] M. Hamid, F. Fethi, E. Maximiliano y L. Hitachi. "A survey and qualitative analysis of MAC protocols for vehicular ad hoc networks". EURECOM. Europe pp 30 – 34, Octubre 2006.
- [10] T.S. Ho y K.C. Chen. "Performance analysis of IEEE 802.11 CSMA/CA medium access control protocol. volumen 2," pp 407–411, Octubre 1996.
- [11] Ministerio de Transporte de Colombia "Resolución No. 001384 de 2010" Ministerio de Transporte. Abril 2010. Documento PDF disponible en: http://web.mintransporte.gov.co/servicios/normas/archivo/Resolucion_001384_2010.pdf [Visitada: Diciembre, 2010].
- [12] D. Tien, J. Scott. "Efficient Algorithms for MPEG Video Compression". John Wiley & Sons, Inc. Diciembre 2001.
- [13] Noticias 3D, "¿Qué cantidad de FPS percibe el ojo humano?". 2006. Página Web disponible en: <http://www.noticias3d.com/noticia.asp?idnoticia=15215>. [Visitada: Diciembre, 2010]
- [14] Wikipedia, "Historia de la Televisión", 2010. Página Web disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_televisión [Visitada: Diciembre, 2010]
- [15] "Algoritmos de Compresión de Video Teoría y Estándares," 2010. Página Web disponible en: <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo330/2s05/projects/Perez/Algoritmos.htm> [Visitada: Diciembre, 2010].
- [16] C. Brunner, A. Garavaglia, M. Mittal, M. Narang, y J. Vargas, " Inter-System Handover Parameter Optimization". Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC Fall '06). Montreal, Canada, Septiembre 2006.
- [17] Institute of Electrical and Electronic Engineers "IEEE Std. 802.11-1999, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications". IEEE, 1999. Disponible en: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-1999.pdf>