

Caracterización de las pérdidas de propagación en el canal de radio V2V para un escenario suburbano

Path-Loss characterization of the V2V propagation channel in a suburban environment

Herman Antonio Fernández González

Ingeniero Electrónico, Magíster en Ingeniería Eléctrica, magíster en Ingeniería Automatización Industrial, Magíster en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicaciones, estudiante de Doctorado en Telecomunicación. Docente de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso, Colombia. Contacto: herman.fernandez@uptc.edu.co

Lorenzo Rubio Arjona

Ingeniero de Telecomunicación, Doctor en Telecomunicación. Docente de la Universitat Politècnica de València. Valencia, España. Contacto: lrubio@dcom.upv.es

Vicent Miguel Rodrigo Peñarroca

Ingeniero de Telecomunicación, Doctor en Telecomunicación. Docente de la Universitat Politècnica de València. Valencia, España. Contacto: vrodrigo@dcom.upv.es

Juan Ribera Reig Pascual

Ingeniero de Telecomunicación, Doctor en Telecomunicación. Docente de la Universitat Politècnica de València. Valencia, España. Contacto: jreigp@dcom.upv.es

Fecha de recepción: 28 de noviembre de 2012

Clasificación del artículo: Investigación

Fecha de aceptación: 21 de mayo de 2013

Financiamiento: Universitat Politècnica de València - Colciencias

Palabras clave: canal radio V2V, comunicaciones vehiculares, modelado, propagación, redes vehiculares *ad hoc*.

Key words: V2V radio channel, vehicular communications, modeling, propagation, ad hoc vehicular networks.

RESUMEN

El diseño de los futuros sistemas de comunicaciones vehiculares ha centrado la atención de la comunidad científica, los organismos de estandarización y fabricantes de vehículos durante estos últimos

años como consecuencia de la introducción de los denominados sistemas de transporte inteligente y el gran potencial que tienen para mejorar las condiciones de seguridad en las carreteras, teniendo como propósito reducir el número de accidentes de tráfico

y facilitar el flujo vehicular. Para diseñar, evaluar y optimizar las aplicaciones de los sistemas de transporte inteligente orientadas a la seguridad vehicular y basadas en sistemas de comunicaciones inalámbricos, es de vital importancia el conocimiento de las características del canal de propagación, en particular las pérdidas básicas de propagación. En este sentido, en el presente artículo se analizan las pérdidas de propagación en función de la distancia de separación entre los vehículos transmisor (Tx) y receptor (Rx). Con base en una campaña de medidas realizada a 700 MHz y 5,9 GHz en un entorno suburbano, de elevada densidad de tráfico rodado, se presentan resultados sobre el rango de variación del exponente de pérdidas y las características de desvanecimiento o variabilidad temporal de la señal recibida. Los resultados son comparados con otros estudios publicados en la literatura.

ABSTRACT

The design of future vehicular communication systems is receiving considerable attention from

the scientific community and also from standard organizations and vehicle manufacturers due to the introduction of intelligent transportation systems (ITS). These concepts bring potential applications for improving traveling conditions in terms of road safety, aiming at reducing the number of traffic accidents as well as providing easy traffic flow. Moreover; in order to design, evaluate and optimize ITS applications oriented towards vehicular safety and based on wireless systems; knowledge of the propagation channel is vital, in particular path-loss conditions. In this context, this paper analyzes path loss in terms of transmitter (Tx) and receiver (Rx) separation distance. The analysis is based on experimental channel measurements carried out at 700 MHz and 5,9 GHz. Values for the path loss exponent and the standard deviation of shadowing are reported and compared with other results published in the literature. The measurement campaign was conducted in a suburban area characterized by high-traffic density.

* * *

1. INTRODUCCIÓN

Los accidentes de tráfico se han convertido en un importante problema social debido al alto número de muertes y lesiones, especialmente en entornos urbanos con tráfico denso, en carretera y en autopistas. Aunque el número total de víctimas mortales se ha reducido considerablemente durante la última década, debido a la implantación de nuevas leyes de tráfico y a la introducción de sistemas pasivos de seguridad en los vehículos, el número de accidentes se mantiene constante como consecuencia del incremento de vehículos en circulación y las largas distancias recorridas en ocasiones.

En los últimos años, desde la comunidad científica, junto con organismos de estandarización y fabricantes de vehículos, se está realizando un

esfuerzo importante orientado a proponer y definir redes vehiculares *ad hoc* (VANETs, Vehicular Ad hoc Networks) basadas en la comunicación inalámbrica entre vehículos (V2V, Vehicular-to-Vehicular) o entre vehículos y puntos de acceso ubicados en las vías de circulación (V2I, Vehicular-to-Infrastructure), también conocidos como sistemas V2X, como un componente importante de lo que se denomina sistemas de transporte inteligente (ITS, Intelligent Transportation Systems). Dichos sistemas están orientados a la reducción del número de accidentes de tráfico, evitando o minimizando el efecto de las colisiones entre vehículos o entre vehículos y peatones [1], [2], [3], [4].

Aunque se han realizado avances en la caracterización del canal de radio V2X en estos últimos cinco años [5], todavía este sigue siendo uno de los

aspectos más importantes en la investigación centrada en las futuras redes vehiculares. Debe tenerse en cuenta que una buena caracterización del canal radio es la base para el desarrollo óptimo de todo sistema de comunicaciones inalámbricas, de manera que se eviten o mitiguen los efectos de dispersión y selectividad temporal introducidos por los efectos multicamino y Doppler, respectivamente. En este sentido, es importante proponer sistemas de medida que permitan obtener resultados con los cuales se puedan estimar las pérdidas para analizar el efecto de interferencia y posibilidades de escalabilidad, especialmente en escenarios de tráfico denso o áreas geográficas reducidas, como por ejemplo zonas de congestión de tráfico [6].

El canal radio V2V, difiere de los tradicionales canales de propagación fijo a móvil (F2M, Fixed-to-Mobile) en varios aspectos importantes: 1) el entorno de propagación es diferente, 2) el transmisor (Tx) y receptor (Rx) se encuentran a la misma altura y en entornos similares, 3) la alta movilidad del Tx y Rx, como también la de los dispersores que los rodean (otros vehículos principalmente), y 4) las bandas de frecuencias utilizadas 1-2 GHz en sistemas F2M y 5,9 GHz en los futuros sistemas V2X en la banda DSRC (Dedicated Short-Range Communications). Estas diferencias entre canales V2V y F2M provocan que los modelos de propagación desarrollados para el despliegue de sistemas F2M, por ejemplo los sistemas de telefonía móvil, no se puedan aplicar en la evaluación del rendimiento y desarrollo de las futuras aplicaciones ITS sobre redes VANETs, lo cual obliga a una caracterización y modelado del canal radio en la banda DSRC. Es importante indicar que otros países, como por ejemplo Japón [7], han apostado por la banda de 700 MHz para el despliegue de los futuros sistemas V2X.

Debido a las características de los sistemas vehiculares, el estudio de las pérdidas de propagación debe tener en cuenta la orografía o las características morfológicas del escenario de propagación, la no estacionariedad del canal, la densidad de tráfico rodado, las condiciones de conducción y separación

Tx/Rx, entre otras. En este artículo se analizan las características de propagación en un escenario suburbano de la ciudad de Valencia, España, en base a medidas reales de propagación. Se ha seleccionado en un primer estudio este tipo de escenario debido a la elevada densidad de tráfico rodado que soporta y a las altas velocidades relativas entre los vehículos Tx/Rx, en comparación con las que se tienen en zonas urbanas. Las medidas se han realizado a 700 MHz y 5,9 GHz (banda DSRC). Los resultados de exponente de pérdidas y variabilidad temporal de la señal recibida son comparados con otros publicados en la literatura.

El artículo está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se describe el sistema de medida, la metodología seguida para la adquisición de las medidas y las principales características del escenario de propagación donde se han realizado las medidas. Los resultados derivados de un primer análisis de las medidas se presentan en la sección 3, donde se analiza el exponente de pérdidas y la variabilidad temporal de la señal recibida. En la sección 4 se comparan los resultados de nuestro estudio con otros previamente publicados en la literatura. La sección 5 presenta las principales conclusiones derivadas del estudio realizado.

2. METODOLOGÍA

2.1 Sistema de medida

Las medidas se han realizado en banda estrecha, donde se ha medido el nivel de señal recibida al transmitir una portadora sin modular. El objetivo es analizar las pérdidas de propagación y la variabilidad temporal debida al efecto de *shadowing*, provocado por la orografía del entorno y por efectos de obstrucción de los vehículos próximos al Tx/Rx. A continuación se describe brevemente el sistema de medida, o sonda de canal, y las características del escenario donde se han realizado las medidas.

2.1.1 Sonda de canal a 5,9 GHz

La sonda de canal implementada para medir la atenuación del canal V2V a 5,9 GHz está formada por el generador de señal HP83623A en el vehículo Tx, transmitiendo una portadora sin modular a 5,9 GHz, y el analizador de redes vectorial (ARV) ZVA24 de Rohde& Schwartz en el vehículo Rx. El ARV se ha utilizado en modo medidor de potencia, midiendo directamente el parámetro b_2 . Las antenas utilizadas en Tx/Rx son monopolos magnéticos en $\lambda/4$ con una ganancia en el plano horizontal de aproximadamente -2,56 dB y un parámetro de $scatteringS_{11}$ inferior a -22 dB. En transmisión se ha utilizado un amplificador de potencia, permitiendo transmitir con una PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) igual a 23,8 dB/m. En recepción se han utilizado dos amplificadores en serie, con una ganancia total de 68,12 dB. Los cables utilizados son de bajas pérdidas, aproximadamente 1,15 dB/m a 5,9 GHz. El nivel de ruido térmico del conjunto de elementos que forman el receptor (antena, cables, amplificadores y el propio ARV) es del orden de -80 dB/m y -70 dB/m para valores del ancho de banda de frecuencia intermedia, B_{IF} , del ARV de 10 y 100 kHz, respectivamente. La resolución temporal (tiempo de adquisición de una medida) es del orden de 135 μ s y 45 μ s para dichos valores de B_{IF} . En la práctica, la elección de B_{IF} responde a un compromiso entre margen dinámico en la medida y tiempo de adquisición. Así, valores bajos de B_{IF} permiten un mayor alcance Tx/Rx, mientras que valores altos permiten analizar con mayor resolución espacial el comportamiento de desvanecimiento a corto plazo al reducir el tiempo de adquisición de las medidas. En recepción, un ordenador portátil controla el ARV para automatizar el sistema de adquisición de medidas.

2.1.2 Sonda de canal a 700 MHz

La sonda de canal implementada para medir la atenuación del canal V2V a 700 MHz está formada por el generador de señal HP8648C en el vehículo Tx, transmitiendo una portadora sin modular a 700 MHz y un analizador de espectros (AE) HP8590L

de Hewlett Packard en el vehículo Rx, el cual tiene un rango en frecuencia que oscila desde 9 kHz hasta 1,8 GHz, con el que se puede medir directamente el valor de potencia para 401 puntos en frecuencia. Las antenas utilizadas son monopolos magnéticos con una ganancia en el plano horizontal de aproximadamente -5,43 dB.

Los vehículos se han equipado con receptores GPS, controlados por ordenadores portátiles, para disponer de información sobre el instante de la adquisición de las medidas, velocidad relativa y separación Tx/Rx. Todos los portátiles se han sincronizado en tiempo para poder relacionar las medidas adquiridas por el ARV y la información suministrada por los receptores GPS.

Los vehículos utilizados en las medidas han sido un Renault Clio (Tx) y un Peugeot 406 (Rx). Las antenas se han montado sobre el techo de los vehículos a una altura aproximada de 1,41 m y 1,45 m sobre el suelo para el Tx y Rx, respectivamente. En las figuras 1 y 2 se muestran los vehículos Tx y Rx, junto con parte del equipamiento de a bordo. Se han utilizado baterías de 75 Ah e inversores de 12 V-CC a 220 V-CA como sistema de alimentación.



Figura 1. Imagen del vehículo Tx junto con el equipamiento de a bordo. Fuente: elaboración propia.



Figura 2. Imagen del vehículo Rx junto con el equipamiento de a bordo.
Fuente: elaboración propia.

2.2 Escenario de propagación

El escenario donde se han realizado las medidas corresponde a escenario suburbano, ubicado en lo que se conoce como Ronda Norte de la ciudad de Valencia, España. Actualmente cuenta con un tramo suburbano de autovía con una velocidad máxima de 120 km/h y un tramo suburbano con una velocidad máxima de 50 km/h, con tres y cuatro carriles de tráfico rodado para cada sentido de circulación. Cuenta a ambos lados con amplios espacios abiertos, alternando con edificios próximos a la calzada, y árboles de mediana altura a lo largo de varios tramos de la avenida. Las características morfológicas del escenario de medida se asemejan a lo que en la literatura se cataloga como zona suburbana [5], [6].



Figura 3. Escenario de medida tramo suburbano Ronda Norte de Valencia, España.
Fuente: elaboración propia.

En la figura 3 se muestra una vista de las condiciones de tráfico durante la campaña de medidas, con línea de vista directa (LOS, Line-Of-Sight) entre el Tx y Rx. Asimismo, en la figura 4 se muestra otra vista del escenario para la misma vía.



Figura 4. Escenario de medida tramo suburbano de autovía Ronda Norte Valencia, España.

Fuente: elaboración propia.

Las medidas se realizaron en días laborables entre las 9:00 y las 13:00 horas, con los vehículos Tx/Rx circulando en el mismo sentido. La intensidad media de vehículos de tráfico rodado por hora es de aproximadamente 3 128 y 3 983, según los datos proporcionados por el Ayuntamiento de Valencia, para una velocidad máxima de 50 y 120 km/hora, respectivamente. Las medidas se realizaron en condiciones normales de conducción, alternado LOS y NLOS (Non-LOS) entre el Tx y el Rx.

3. RESULTADOS

En la figura 5 se representa la distancia de separación Tx/Rx, d , la velocidad del Tx y Rx, y la potencia recibida a lo largo del tiempo para un registro de medidas de 180 s de duración. El nivel de potencia recibida corresponde a medidas realizadas a 700 MHz. Se observan algunos instantes donde la velocidad del Tx y Rx son nulas, que se corresponden con instantes en los que ambos vehículos estaban parados en un semáforo. Los parámetros de la figura 5 permiten realizar un análisis de las pérdidas de propagación en términos de la separa-

ción entre vehículos. También es posible realizar un análisis de variabilidad temporal de la señal recibida en términos de la velocidad relativa entre Tx y Rx, que no es objeto en estos momentos de este estudio. En la figura 6 se muestran los parámetros correspondientes a un registro de medida a 5,9 GHz.

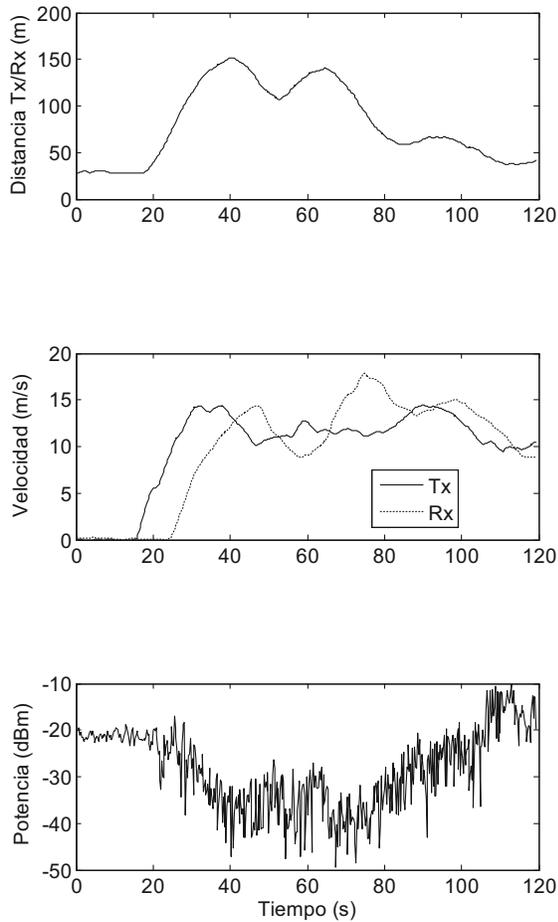


Figura 5. Separación Tx/Rx, velocidad y potencia recibida en función del tiempo. Los datos de potencia corresponden a 700 MHz. Fuente: elaboración propia.

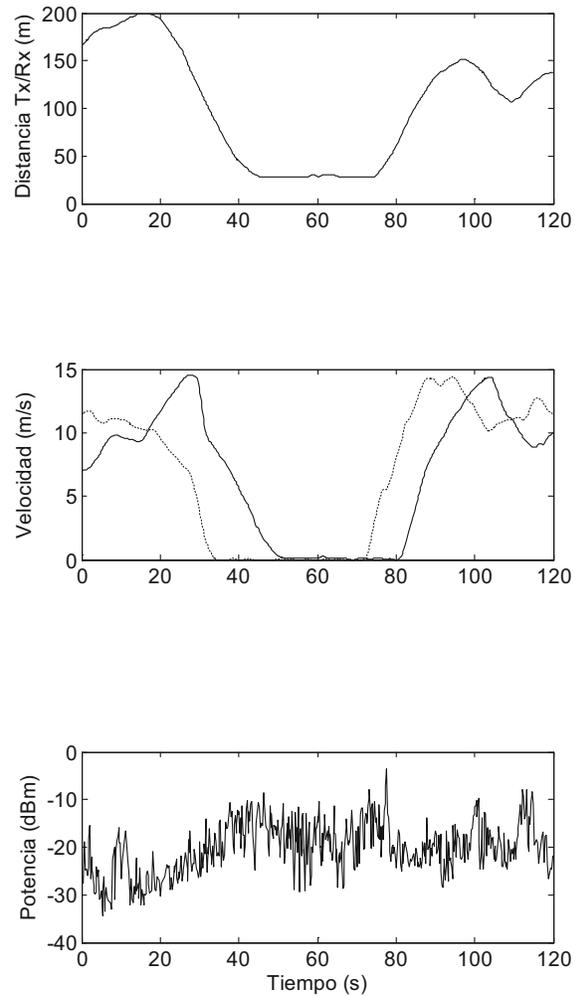


Figura 6. Separación Tx/Rx, velocidad y potencia recibida en función del tiempo. Los datos de potencia corresponden a 5,9 GHz. Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con [5], en los sistemas V2V puede establecerse una relación lineal entre las pérdidas de propagación, PL , y el logaritmo de la distancia entre Tx/Rx de forma análoga a los sistemas tradicionales F2M, dada por la ecuación (1).

$$PL(d) = \overline{PL}_0 + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + S, \quad d \geq d_0 \quad (1)$$

donde \overline{PL}_0 representa las pérdidas medias de propagación a una distancia $d_0 = 1$ m, el término $10\gamma \log(d/d_0)$ hace referencia a las pérdidas medias de propagación referidas a una distancia Tx/Rx igual a 1 m, γ es el denominado exponente de pérdidas, relacionado con el tipo de entorno de propagación, y S es una variable aleatoria con distribución gaussiana de media cero y desviación típica σ_S . La variable S es utilizada para modelar los desvanecimientos a largo plazo (*long-term fading* o *shadowing*) debidos a la variabilidad temporal de la señal recibida.

En la figura 7 se representan, a modo de ejemplo, las pérdidas de propagación en función de la distancia de separación Tx/Rx para uno de los registros de medidas a 700 MHz. En la figura 8 se representan las pérdidas de propagación a 5,9 GHz. Aplicando un ajuste lineal por mínimos cuadrados sobre el total de registros de medidas obtenidos, se obtienen los parámetros del modelo dado por la ecuación (1) que se representan en las tablas 1, 2 y 3.

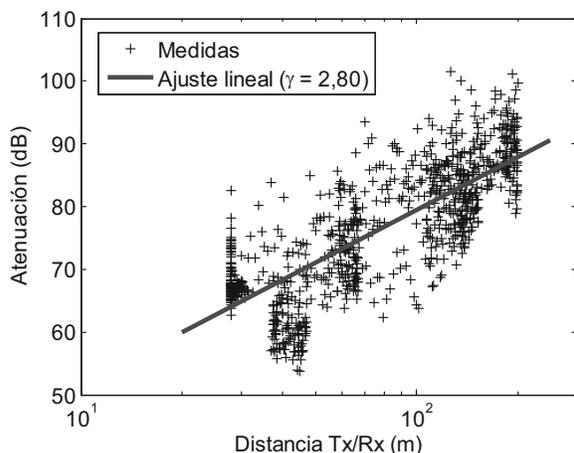


Figura 7. Atenuación en función de la distancia Tx/Rx a 700 MHz. Fuente: elaboración propia.

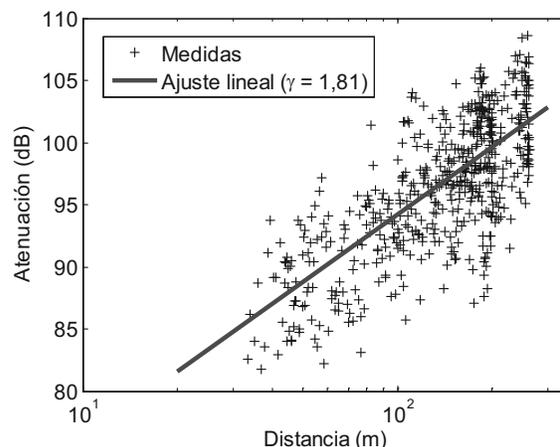


Figura 8. Atenuación en función de la distancia Tx/Rx a 5,9 GHz. Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Valores del exponente de pérdidas en función de la frecuencia.

Parámetro	700 MHz	5,9 GHz
Valor mínimo	1,25	1,53
Valor máximo	3,33	3,72
Valor medio	2,15	2,17
Desviación típica	0,74	0,81

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Valores del parámetro \overline{PL}_0 en función de la frecuencia.

Parámetro (en dB)	700 MHz	5,9 GHz
Valor mínimo	10,98	10,25
Valor máximo	39,64	59,58
Valor medio	28,32	44,90
Desviación típica	11,43	17,01

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Valores de la variable S , en módulo, en función de la frecuencia.

Parámetro (en dB)	700 MHz	5,9 GHz
Valor mínimo	3,38	3,25
Valor máximo	7,87	8,35
Valor medio	5,47	4,86
Desviación típica	1,34	1,66

Fuente: elaboración propia.

Según los datos del exponente de pérdidas mostrados en la tabla 1, se observa cómo hay momentos donde las condiciones de propagación son más favorables debidas al efecto de interferencia multicamino que las condiciones de espacio libre (onda directa), con un exponente de pérdidas menor que 2. Concretamente el valor mínimo del exponente de pérdidas obtenido es 1,25 y 1,53 a 700 MHz y 5,9 GHz, respectivamente. Los valores máximos obtenidos son 3,33 y 3,72 a 700 MHz y 5,9 GHz, respectivamente. Mientras, los valores medios son muy similares, 2,15 y 2,17 a 700 MHz y 5,9 GHz, respectivamente. Valores superiores a 2 se corresponden con condiciones de propagación más adversas que en espacio libre, debido a los efectos de inferencia multicamino destructiva y bloqueo de otros vehículos según las condiciones de tráfico rodado.

Los datos mostrados en la tabla 2 corresponden al término PL_0 , obteniéndose valores medios de 28,32 dB y 44,90 dB. Estos valores medios son muy próximos a los que se tendría en espacio libre (29,34 dB y 47,85 dB a 700 MHz y 5,9 GHz, respectivamente). Las diferencias son debidas a que en espacio libre únicamente existe la contribución directa, mientras que en la práctica aparte de la contribución directa pueden existir determinadas contribuciones multicamino según el diagrama de radiación de las antenas utilizadas.

Si comparamos los resultados obtenidos a ambas frecuencias, se observa una mayor variabilidad en las medidas a 5,9 GHz, como indican los valores de desviación típica de la variable S mostrados en

la tabla 3. También, los valores de desviación típica obtenidos para el exponente de pérdidas (tabla 1) y el parámetro PL_0 (tabla 2) indican el mismo comportamiento en términos de variabilidad estadística.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En [5] se revisan las técnicas de medida basadas en banda estrecha y banda ancha para la caracterización experimental del canal radio vehicular, al tiempo que se indican las principales características de las campañas de medidas más representativas publicadas hasta marzo de 2011. En [5, tabla 4] se resumen los valores del exponente de pérdidas para medidas realizadas en entornos de carretera, zona rural, suburbana y urbana. Para entornos de carretera, los valores medios del exponente de pérdidas obtenidos en [6], [8] y [9] son 1,77, 1,9 y 1,85, respectivamente. Para entornos rurales los valores del exponente de pérdidas obtenidos en [8] y [9] son 2,3 y 1,79, respectivamente. Para zona urbana se han obtenido valores medios del exponente de pérdidas iguales a 1,68 y 1,61 en [6] y [9], respectivamente. Mientras que para escenarios suburbanos, en [6] se ha obtenido un exponente de pérdidas igual a 1,59, en [8] se han obtenido valores de 2,32 y 2,75 y en [10] se ha obtenido un valor medio de 2,57. Los resultados publicados ponen de manifiesto que el exponente de pérdidas está relacionado con el tipo de entorno, técnica de medida utilizada por la sonda de canal, altura de las antenas Tx/Rx y tipo de vehículo en el que van embarcadas.

El valor mínimo obtenido del exponente de pérdidas en nuestro estudio, $n=1,53$ a 5,9 GHz es del orden de los valores obtenidos en [6], donde las medidas se realizaron en una zona suburbana de la ciudad de Lund (Suecia). Mientras que el valor medio, $n=2,17$ es más parecido a los valores mínimos obtenidos en [8] en una zona suburbana de Pittsburgh, Pensilvania (Estados Unidos). Con respecto a los desvanecimientos a largo plazo provocados por la orografía de la zona y el efecto de obstrucción de los propios vehículos, en [5] se ha obtenido $\sigma_s=2,1$ dB, mientras que en [8] se tienen valores entre 2,1 dB y

7,1 dB y en [10] se ha obtenido un valor medio de 3,74 dB. Los valores obtenidos en nuestro estudio a 5,9 GHz están más próximos a los obtenidos en [8].

5. CONCLUSIONES

En este artículo se han presentado los resultados correspondientes al estudio y análisis de una campaña de medidas llevada a cabo en un escenario vehicular típico de entornos suburbanos con elevada densidad de tráfico rodado. Las medidas se han realizado a 700 MHz y 5,9 GHz (banda DSRC). Los resultados han mostrado una mayor variabilidad de la señal recibida a la frecuencia de 5,9 GHz, si bien los efectos de obstrucción entre vehículos y condiciones de propagación con línea de visión directa producen unas pérdidas mayores. Los resultados se han comparado con otros estudios publicados en la literatura, donde se ha puesto de manifiesto que los resultados obtenidos son dependientes del tipo y técnica de medida, así como de las características del escenario de propagación.

Aunque se han realizado campañas de medidas para la caracterización de la propagación en esce-

narios vehiculares, este sigue siendo un tema de especial interés para el desarrollo de los futuros sistemas de comunicaciones relacionados con el concepto de transporte ITS. La característica de baja latencia exigida a los sistemas de comunicaciones vehiculares, obliga a un conocimiento lo más preciso posible de los mecanismos y condiciones de propagación radioeléctrica para la simulación y desarrollo óptimo de estos. En este sentido, las diferencias morfológicas de las ciudades dentro de un mismo país y entre continentes diferentes, hacen necesario llevar a cabo un mayor número de campañas de medidas para tener un conocimiento más exhaustivo de las condiciones de propagación en escenarios vehiculares y poder desarrollar así modelos de propagación más precisos.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado en parte por el Programa de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Universitat Politècnica de València (PAID-05-11 Ref. 2702) y el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias, de Colombia.

REFERENCIAS

- [1] B. Gallagher y H. Akatsuka, "Wireless communications for vehicle safety: radio link performance and wireless connectivity methods", *IEEE Vehicular Technology Magazine*, pp. 4-24, diciembre 2006.
- [2] Working Group Chair: Thomas M. Kurihara, *IEEE 1609 - Family of Standards for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)*. [Online]. Available: <http://www.standards.its.dot.gov>.
- [3] Jiang y L. Delgrossi, "IEEE 802.11p: Towards and international standard for wireless access in vehicular environments", en *Proceedings of The 67th IEEE Vehicular Technology Conference*, mayo 2008, pp. 2036-2040.
- [4] The Car-to-Car Communication Consortium (C2CC). [Online]. Available: <http://www.carto-car.org>.
- [5] L. Rubio, J. Reig y H. Fernández, "Propagation aspects in vehicular networks, Vehicular Technologies: increasing connectivity". Miguel Almeida (Ed.): *InTech, 2011*[Online]. Disponible en

<http://www.intechopen.com/books/vehicular-technologies-increasing-connectivity/propagation-aspects-in-vehicular-networks>.

- [6] J. Karedal, N. Czink, A. Paier, F. Tufveson y A. F. Molisch, "Path loss vehicle-to-vehicle communications", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, no. 1, pp. 323-328, enero 2012.
- [7] R. Sevlian, C. Chun, I. Tan, A. Bahai, and K. Laberteaux, "Channel Characterization for 700MHz DSRC Vehicular Communication", *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2010, Article ID 840895, 9 pages, 2010. doi:10.1155/2010/840895.
- [8] L. Cheng, B.E. Henty, D. D. Stancil, F. Bai and P. Mudalige, "Mobile vehicle-to-vehicle narrow-band channel measurement and characterization of the 5.9 GHz dedicated short range communications (DSRC) frequency band", *IEEE Journal on Selected Area in Communications*, vol. 25, no. 8, pp. 1501-1526, octubre 2007.
- [9] J. Kunisch y J. Pamp, "Wideband car-to-car radio channel measurements and model at 5.9 GHz", en *Proceedings of the 68th IEEE Vehicular Technology Conference*, Septiembre 2008, pp. 1-5.
- [10] J. Campuzano, H. Fernández, D. Balaguer, M. Rodrigo-Peñarroca, J. Reig y L. Rubio, "Caracterización experimental en banda estrecha del canal radio Vehicular-to-Vehicular (V2V) a 5.9 GHz", *XXVII Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio*, septiembre 2012.