



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



Máster Universitario
en Tecnologías, Sistemas y
Redes de Comunicaciones

Caracterización experimental en banda estrecha del canal vehicular V2V

Autor: David Balaguer Maestre

Director 1: Lorenzo Rubio Arjona

Director 2: Vicent Miquel Rodrigo Peñarrocha

Fecha de comienzo: 1/11/2012

Lugar de trabajo: Grupo de Radiación Electromagnética del
iTEAM

Objetivos –

1. Caracterización y estudio experimental de los mecanismos de propagación en escenarios vehiculares. En concreto, se pretende evaluar las pérdidas de propagación en la banda de 700 MHz y 5.9 GHz, y el efecto Doppler en esta última.
2. Planificación, definición y desarrollo de una campaña de medidas V2V.

Metodología –

Se ha realizado una revisión bibliográfica para estudiar y analizar los principales parámetros a considerar en la medición y caracterización del canal radio vehicular en la banda DSRC (*Dedicated Short-Range Communications*) a 5.9 GHz y en la de 700 MHz. Se ha diseñado una sonda de canal para realizar una caracterización experimental para posteriormente poder evaluar parámetros del *path loss* como γ para contrastarlo con los resultados de otras campañas.

Desarrollos teóricos realizados –

Diseño de una sonda de canal a 700 MHz y 5.9 GHz para caracterizar canales vehiculares. Para ello se plantea y define un diagrama de bloques en los sistemas transmisor y receptor. Después se elijen todos los elementos necesarios como amplificadores, cables, conectores y antenas. Además, como la sonda implica dos vehículos, es imprescindible definir un método de sincronización para referenciar las medidas tomadas.

Desarrollo de prototipos y trabajo de laboratorio –

Se ha implementado un sistema de adquisición de medidas, o sonda de canal, para la caracterización experimental del canal radio en escenarios vehiculares. El sistema consta de un analizador de redes vectorial (ARV) para la frecuencia de 5.9 GHz y un analizador de espectros (AE) para la frecuencia de 700 MHz, además de todos los componentes y equipamiento complementario para su funcionamiento como: cables, amplificadores, antenas y el sistema de alimentación. El sistema de medidas se ha automatizado mediante el software MatLab, permitiendo la adquisición automática de grandes volúmenes de medidas para un posterior tratamiento o procesado. Tanto los componentes por separado como el sistema completo se han caracterizado en el laboratorio y probado su correcto funcionamiento.

Resultados –

La campaña de medidas llevada a cabo en la ciudad de Valencia durante la primera mitad de 2012, ha culminando con la parte experimental de un extenso proyecto para el grupo de GRE (*Grupo de Radiación Electromagnética*) del instituto de investigación iTEAM (Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia) de la Universidad Politécnica de Valencia. Los resultados son una primera aproximación hacia la caracterización del canal V2V, siendo necesario la elaboración de análisis posteriores mucho más exhaustivos con el fin de conocer, de forma óptima, todas las características de propagación del canal V2V. En este sentido, se va a proceder a mostrar dichos resultados organizados por entornos de propagación. Analizando tramos concretos de circulación con condiciones específicas de

tráfico. Con el fin de, posteriormente, obtener unas pérdidas de propagación medias para cada tipo de escenario.

Lineas futuras –

Dentro del grupo GRE del iTEAM, las líneas futuras de trabajo deben ir enfocadas en continuar con los estudios del canal de comunicaciones V2X, centrándose en sistemas V2I. Gracias a la gran cantidad de registros que se han tomado, aún es posible analizar de forma exhaustiva situaciones que no se han contemplado en esta memoria como el caso de intersecciones y circulación de los vehículos en sentido contrario. El grupo ya está llevando a cabo, un análisis V2I en el que, además, se podrá comparar con los resultados obtenidos en este proyecto para V2V. Completando de este modo la caracterización del canal V2X. Finalmente el análisis de los desvanecimientos a corto plazo (*short term fading*), es otra de las líneas de trabajo para seguir con la línea de las comunicaciones vehiculares.

Publicaciones –

H. Fernández, D. Balaguer, X. Part, J. Reig y L. Rubio, Aspectos sobre la variabilidad temporal y dispersión en frecuencia del canal radio para comunicaciones vehiculares . XXVI Edición del Simposio URSI, celebrado en Leganés, España, 7-9 de septiembre de 2011

A.J. Campuzano, H. Fernández, D. Balaguer, A. Vila, B. Bernardo-Clemente, V.M. Rodrigo-Peñarrocha, J. Reig, A. Valero-Nogueira and L. Rubio, Vehicular-to-Vehicular Channel Characterization and Measurement Results. Revista WAVES 2012 del Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM).

H. Fernández, S. Avella, A.J. Campuzano, D. Balaguer, V.M. Rodrigo-Peñarrocha, J. Reig, and L. Rubio. "A survey of channel measurement techniques and narrowband channel parameters for vehicular communications", Conferencia Colombiana de Comunicaciones (COLCOM) IEEE 2012 celebrado en Santiago de Cali, Colombia, 16-18 de mayo de 2012.

A. J. Campuzano, H. Fernández, D. Balaguer, V. M. Rodrigo-Peñarrocha, J. Reig y L. Rubio. "Caracterización experimental en banda estrecha del canal radio Vehicular-to-Vehicular (V2V) a 5.9 GHz". XXVII Edición del Simposio URSI, a celebrar en Elche, España, 12-14 de septiembre de 2012.

Abstract –

This Thesis describes the most important parameters related to the frequency and time selective behavior. Also, in this work, a V2V measurement system is described and how it is used in a real environment. Particularly, an extensive measurement campaign was carried out in urban and suburban areas of Valencia city and based on this the first values of path loss exponent and the standard deviation of shadowing are reported. Also, the Doppler power density (PDS) due to the time-selective behavior is examined.

Autor: David Balaguer Maestre, [email: dabamae@teleco.upv.es](mailto:dabamae@teleco.upv.es)

Director 1: Lorenzo Rubio Arjona, [email: lrubio@dcom.upv.es](mailto:lrubio@dcom.upv.es)

Director 2: Vicent Miquel Rodrigo Peñarrocha, [email: vmrodrigo@dcom.upv.es](mailto:vmrodrigo@dcom.upv.es)

Fecha de entrega: 13-07-12

Índice

1. Introducción	4
2. Objetivos	5
PARTE TEÓRICA	6
3. Caracterización de canales V2X de banda estrecha	6
4. Revisión bibliográfica	8
5. Sistema de medida	11
5.1. Esquema de medida a 5.9 GHz	12
5.2. Esquema de medida a 700 MHz	14
5.3. Automatización del sistema	14
PARTE PRÁCTICA	16
6. Escenarios de medida	16
6.1. Urbano	16
6.2. Suburbano	17
6.3. Carretera	17
6.4. Rural	18
7. Presentación de resultados	19
7.1. Modelos de pérdidas	19
7.2. Dispersión en frecuencia	32
8. Conclusiones	36
9. Agradecimientos	37
A. Bibliografía	39
B. Artículos	41

1. Introducción

Los nuevos sistemas de comunicaciones V2V (*Vehicular-to-Vehicular*) y V2I (*Vehicular-to-Infrastructure*) han sido propuestos en el concepto ITS (*Intelligent Transportation Systems*) como una potente plataforma para reducir los accidentes de tráfico y mejorar la movilidad vial a través del intercambio en tiempo real de datos relativos al desplazamiento de los vehículos. Con este intercambio se pretenden proporcionar a cada conductor datos referentes a los vehículos que se encuentren en su zona de influencia, especialmente de los que no estén en su campo visual. Así, estos sistemas permitirán advertir los posibles peligros y situaciones de congestión de tráfico con tiempo suficiente como para reaccionar y conseguir evitarlos con el fin de reducir el número de accidentes de tráfico, y evitar o minimizar el efecto de las colisiones entre vehículos o entre vehículos y peatones. En 2005, los fabricantes de vehículos europeos crean un consorcio denominado CAR-2-CAR Consortium (C2CC), cuyo objetivo, entre otros, es establecer un estándar europeo abierto para la industria de sistemas V2V y V2I basados en componentes de redes inalámbricas [1]. Los principales retos y características de las redes de comunicaciones entre vehículos son:

- Alta movilidad
- Patrones de movilidad predecibles y restringidos
- Cambios rápidos de la topología
- Sin restricciones de potencia
- Localización
- Gran densidad de nodos
- Requisitos de retardo altos

Una buena caracterización del canal radio es la base para el desarrollo de todo sistema de comunicaciones inalámbricas, de manera que se eviten o mitiguen los efectos de dispersión y selectividad temporal como consecuencia de los efectos multicamino y Doppler, respectivamente. La selectividad temporal es importante en comunicaciones vehiculares dado que la velocidad relativa entre el transmisor (Tx) y el receptor (Rx) puede ser elevada. Aparte de esto, los modelos propuestos en sistemas F2M (*Fix-to-Mobile*) no son apropiados para caracterizar este nuevo sistema V2V donde la movilidad es mucho mayor y las antenas se encuentran a la misma altura. En este sentido y para una caracterización experimental de los mecanismos de propagación, se ha propuesto el diseño de una sonda de canal para caracterizarlo a la frecuencia prevista según el estándar IEEE 802.11p a 5.9 GHz y 700 MHz, en este último caso como consecuencia de que en algunos países como Japón se ha liberado esta banda del espectro. Por otro lado, las aplicaciones propuestas por C2CC requieren que los sistemas embarcados en los vehículos tengan carácter cooperativo junto con protocolos específicos de comunicaciones, con el fin de asegurar los requisitos de calidad y grado de servicio requerido por cada aplicación.

La tesina se basa en la caracterización de canal de sistemas de comunicación vehiculares; es decir, tanto entre los vehículos, como con las infraestructuras inmóviles necesarias destinadas al correcto funcionamiento de las aplicaciones que puedan usar este tipo de sistemas.

La parte fundamental será el planteamiento, desarrollo y el consecuente análisis de resultados de una campaña de medidas de sistemas V2V y V2I en la banda de frecuencias DSRC situada en 5.9 GHz y en la banda de 700 MHz. Para ello emplearemos un sistema de comunicaciones basado tanto en elementos móviles, como en elementos que estarán situados en un lugar fijo, sin ningún tipo de movimiento. Los primeros serán tanto transmisores como receptores e irán montados en diferentes vehículos. Estarán, además, acompañados de un sistema de posicionamiento, el cual nos facilitará la información que relaciona el lugar en el que nos encontramos y la medida que estamos realizando. Los segundos también podrán ser tanto sistemas transmisores como receptores y deberán estar situados en posiciones estratégicas dentro de la planificación de la campaña de medidas. A partir de los niveles de potencia recibidos, posición y velocidad podremos llegar a analizar los desvanecimientos a pequeña y gran escala y crear modelos de pérdidas de propagación.

2. Objetivos

Las diferencias entre los canales V2X y F2M hacen que los modelos planteados hasta ahora para F2M no se puedan aplicar en el rendimiento de las futuras aplicaciones ITS basadas en sistemas de comunicaciones vehiculares, por tanto un primer objetivo es caracterizar experimentalmente el canal de comunicaciones vehiculares. Para ello, el primer paso es elaborar un completo sistema de medidas que trabaje a 700 MHz y otro paralelo que lo haga a 5.9 GHz. Además de los sistemas tenemos que ser capaces de elaborar una concienzuda campaña para intentar obtener los resultados deseados. Estudiando, para ello, el lugar o lugares en los que se va a realizar el ejercicio de la adquisición de las medidas, teniendo en cuenta aspectos de las condiciones del tráfico tan dispares como el tipo de vía, la cantidad y velocidad de los vehículos que por ella transitan, de las características de lo que rodea a la misma, como por ejemplo construcciones, o el día de la semana, la hora del día y la ciudad en la que nos encontramos.

Una vez superada esta fase, el siguiente paso a realizar es analizar los resultados obtenidos. Este es el siguiente objetivo de la tesina, efectuar, con los datos tomados en nuestra campaña, un completo análisis en el que se muestre todas las características y peculiaridades de las medidas realizadas y del resto de información necesaria, obtenida en cada caso.

Tras el análisis de las medidas adquiridas, el siguiente paso es el de intentar buscar patrones que rijan el comportamiento de la señal dependiendo de las variables estudiadas. Para que de esta forma, se permita la caracterización del canal en base a las pérdidas de propagación y desvanecimientos a corto y largo plazo.

PARTE TEÓRICA

3. Caracterización de canales V2X de banda estrecha

En los canales inalámbricos, las señales transmitidas se pueden propagar hasta el receptor tomando diferentes caminos. A este efecto se le llama propagación multicamino. Esto se debe a que las ondas transmitidas interactúan con los objetos que se encuentran en su entorno (árboles, edificios etc.) los cuales causan reflexiones, difracciones y *scattering*. Aunque en banda estrecha se han realizado muchas medidas para la caracterización del canal F2M, las diferencias que existen con el canal V2X hace que sea necesario realizar extensas campañas de medida para poder plantear nuevos modelos de canal. Los autores de [2] destacan como principales diferencias:

- La altura de las antenas en transmisor y receptor con la misma en comunicaciones V2V lo cual implica que los mecanismos de propagación principales son diferentes. Esto se ve claramente el ángulo de salida (AoD) y ángulo de llegada (AoA) de las ondas que hacen que la forma de la función de *scattering* difiera con la que se observa en comunicaciones celulares.
- En los canales V2V, Tx, Rx y los objetos pueden estar en movimiento. Esto implica fluctuaciones del canal mayores por lo que asumir que el canal es WSSUS (*Wide Sense Stationary Uncorrelated Scattering*) puede no ser válido.
- La atenuación es mayor y los mecanismos de propagación como la difracción son menos eficientes si se opera a la frecuencia de 5.9 GHz que resulta una frecuencia alta en comparación con la banda de comunicaciones celulares (700-2100 MHz).
- Los modelos de canal se suelen referir a un entorno concreto, en el caso de comunicaciones V2V se pueden encontrar varios entornos:
 - *Autopistas* de 2 a 6 carriles con un rango de velocidad entre 80 y más de 120 km/h y distintas densidades de tráfico(hasta 10000 coches/h).
 - *Carreteras convencionales* con 2 carriles y velocidad máxima de 100 km/h. Se pueden encontrar algunos edificios, montañas o bosques y una densidad de tráfico baja.
 - *Carreteras suburbana* con uno o dos carriles donde los edificios se encuentran como máximo a 10 metros. Es poco probable encontrar camiones en este tipo de carreteras. Soportan una densidad de tráfico baja y en general la velocidad máxima está limitada a 50 km/h.
 - *Carreteras urbanas* tienen unas calles muy amplias y mayor densidad de tráfico que las carreteras suburbanas aunque también la densidad de tráfico es muy variable dependiendo de la hora del día. La densidad de difusores es mucho mayor y con mayor movilidad, además los edificios se encuentran muy próximos a la calzada.

La forma de caracterizar cada entorno y después compararlos entre los de la misma naturaleza o contrastar las diferencias con entornos distintos es a través de parámetros que cuantifican valores máximos y mínimos, valores medios, desviaciones típicas y otros estadísticos. A continuación se muestra la ecuación general de pérdidas de propagación en espacio libre Ec. 1 que relaciona de forma lineal las pérdidas sufridas en espacio libre en función de la distancia a la que se encuentren Tx y Rx.

$$L(d) = 10\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda_c}\right) \quad (1)$$

Ahora bien, al variar entre los distintos escenarios, las pérdidas de propagación se expresan como Ec. 2

$$PL(d) = \overline{PL}(d) + X_\sigma \quad (2)$$

donde $\overline{PL}(d)$ son las pérdidas medias por trayecto y X_σ es una variable aleatoria Gaussiana de media 0 y desviación típica σ aunque hay quien defiende [3] que se puede comportar en ocasiones como una distribución Nakagami-m. Estos parámetros modelan el desvanecimiento a larga escala (*shadowing*) y a su vez $\overline{PL}(d)$ se puede describir mediante el uso de lo que se conoce como exponente de pérdidas γ que representa la pendiente de la recta de pérdidas medias (ver Ec. 3).

$$L = L_0 + 10\gamma\log(d) \quad (3)$$

De forma empírica se ha demostrado que para $\gamma = 2$ estamos ante un escenario de espacio libre. Con los nuevos sistemas V2V y V2I aparecen nuevos modelos para estimar el valor medio del *path loss* que en comparación a lo visto anteriormente, donde la potencia recibida decrece con el logaritmo de la distancia entre Tx/Rx, diferencia entre una o dos pendientes *single- and dual-slope models*.

Modelo a dos pendientes

El modelo a dos pendientes se caracteriza por un exponente de pérdidas γ_1 y una desviación estándar σ_1 , por debajo de una distancia crítica d_c y por un exponente de pérdidas γ_2 y una desviación estándar σ_2 , por encima de dicha distancia crítica d_c y se expresa como Ec. 4:

$$\overline{PL}(d) = \begin{cases} \overline{PL}(d_0) + 10\gamma_1\log\left(\frac{d}{d_0}\right) & d_0 \leq d \leq d_c \\ \overline{PL}(d_0) + 10\gamma_1\log\left(\frac{d_c}{d_0}\right) + 10\gamma_2\log\left(\frac{d}{d_0}\right) & d > d_c \end{cases} \quad (4)$$

donde el valor de la distancia crítica se basa en medidas reales aunque son muchos los autores que han intentado encontrar una expresión que defina la distancia crítica en función de parámetros como las alturas de las antenas, la elevación del terreno y la frecuencia. Este valor relaciona las características de propagación del entorno, y por lo tanto se tendrán diferencias importantes entre urbanos, suburbanos, carreteras, áreas rurales y sus respectivas condiciones de tráfico.

Estas diferencias justifican la necesidad de realizar mayores campañas de medidas ya que actualmente no se dispone de una cantidad suficiente para poder formular afirmaciones sobre los canales V2V en el mundo real. Además, las características de los entornos

VANET (Vehicular Ad-hoc Networks) varían según la región y es necesario que las campañas de medidas se realicen en distintas partes del mundo.

4. Revisión bibliográfica

Varias campañas de medida en canales vehiculares se han centrado en investigar las características de propagación del canal en diferentes entornos y frecuencias, principalmente en los últimos cinco años, pero todavía sigue siendo uno de los aspectos más importantes en la que se centra la investigación de las futuras redes vehiculares. Los principales Actualmente, de la bibliografía estudiada se concluye que son necesarias más campañas de medidas, especialmente en condiciones donde Tx y Rx se desplazan en sentidos opuestos, densidad de tráfico y franjas horarias (horas punta, día y noche).

En [4] se realizó una extensa campaña de medidas en escenarios urbanos, rurales y autopistas con tecnología MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) a la frecuencia central de 5.2 GHz prestando especial atención a la resolución del efecto Doppler. Los desplazamientos máximos de frecuencia fueron de 1.6 kHz para velocidades máximas de 50 km/h cada coche incluyendo la conducción en sentidos opuestos y se repartían entre 0 Hz y el desplazamiento correspondiente a la velocidad relativa. La sonda de canal medía el perfil de retardo y se apoyaba en posicionamiento GPS y un láser en el transmisor para medir distancias.

También a la frecuencia de 5.2 GHz, en [5] ya se hizo una caracterización del canal en banda estrecha entre vehículos. El objetivo era obtener funciones estadísticas como el espectro de densidad de potencia Doppler media o la frecuencia de cortes por un nivel de potencia y sus derivados en escenarios de medida como ciudades, pueblos, carreteras y autopistas. Después se compararon los resultados con las distribuciones Rice, Rayleigh, Gauss o Nakagami.

Podemos encontrar otra campaña de medidas realizada a 5.2 GHz en 5 ciudades de Ohio: Cleveland, Columbus, Cincinnati, Dayton y Athens [6]. Las cuatro primeras son ciudades grandes comparadas con Athens. También tomaron medidas en las autopistas cercanas para distintas densidades de tráfico e incluso tuvieron en cuenta los efectos de variabilidad horaria haciendo medidas a distintas horas del día. Por contra, utilizaron furgonetas para hacer las medidas lo cual no es totalmente fiel al tipo de vehículos que predominan en las carreteras aunque también distinguieron entre poner las antenas en el techo del vehículo y en el salpicadero. Finalmente obtuvieron modelos estadísticos del canal y algunos ejemplos de PDP (*Power Delay Profile*).

Respecto a este último aspecto, el tipo de vehículo y la posición de la antena, tiene un efecto combinado que influye en las componentes multicamino que pueden llegar a la antena. La mayoría de las antenas actualmente se montan en el techo o cerca de la ventana trasera, aunque otros coches pueden llevar antenas en el salpicadero o el parachoques (radar). En [7] demuestran que las pérdidas de propagación aumentan entre 5-10 dB dependiendo de la posición de la antena además de aumentar el efecto de propagación multicamino.

En el estudio realizado en [8], se analizan las medidas de banda estrecha sobre un ca-

nal móvil de vehículo a vehículo a 5.9 GHz en Pittsburgh, Pennsylvania, bajo condiciones reales de conducción en ciudad. Además incluía un sistema de posicionamiento DGPS (*Differential GPS*), por ello en los resultados de pérdidas de propagación, desplazamiento Doppler y tiempo de coherencia se tienen en cuenta la posición y la separación entre vehículos. Se usa una distribución de Nakagami para describir la estadística de desvanecimiento. Además se introduce un nuevo diagrama velocidad-separación para entender la propagación vehículo a vehículo y predecir el ensanchamiento Doppler y el tiempo de coherencia.

Otras investigaciones como la de [9] a 2.4 GHz y 5.9 GHz en autopistas han ayudado también para el análisis del Doppler y las características multicamino. En [10] se llevó a cabo una extensa campaña de medidas a 5.3 GHz para medir el *delay spread* y las estadísticas Doppler.

Otra de las situaciones en las que más se centran los estudios de los investigadores es en estudiar el comportamiento del canal en condiciones en las que no se tiene una línea de visión directa NLOS (*Non-Line-of-Sight*), para asistir a los conductores en cruces e intersecciones. Para ello se necesita monitorizar en dos dimensiones espaciales y es muy sensible a imprecisiones por lo que necesita tasas de actualización de la información elevada. Además las esquinas en las ciudades suelen estar ocupadas por edificios que bloquean la línea de visión directa LOS (*Line-of-Sight*) por lo que los únicos mecanismos de propagación son la reflexión, la difracción y la refracción a pesar de que a 5.9 GHz estos efectos no son tan propicios.

Ahondando en esta situación, [11] desarrolla un modelo de pérdidas y desvanecimientos para situaciones de NLOS basado en medidas reales tomadas en intersecciones en la ciudad de Munich [12]. Derivada de esta campaña de medidas, presentan los perfiles de PDP, pérdidas de propagación y *delay spread* concluyendo que en situación de NLOS hay problemas de cobertura en especial si hay otros objetos significantes alrededor de la intersección. Los autores comprueban que los datos tomados se ajustan a un modelo analítico que incorpora aspectos geométricos específicos. En concreto, las pérdidas de propagación son muy fuertes cuando se encuentran alejados los vehículos de la intersección en cuanto se interponen unos pocos obstáculos entre ellos. Además la comunicación depende en gran medida de la disponibilidad de difusores como son los edificios que puede hacer llegar una gran fracción de la potencia recibida. En última instancia, descubren que el número de caminos disponibles se incrementa dramáticamente cuando Tx y Rx están en la intersección, llevando el *rms delay spread* al máximo en ese instante.

Con esto se concluye en primer lugar que al contrario que los canales macrocelulares, que sufren el mayor retardo en espacios abiertos como autopistas o puentes donde los dispersores más alejados provocan contribuciones significantes en la respuesta, en los canales DSRC vehiculares están principalmente influenciados por los dispersores más próximos y experimentan grandes retardos en las calles tipo cañón de las ciudades en condiciones de NLOS (*Non-Line-of-Sight*) o por grandes camiones en sus proximidades. En segundo lugar, el desvanecimiento a largo plazo sucede con mayor intensidad en los entornos vehiculares que en entornos macrocelulares porque los obstáculos dominantes son tanto los más pequeños como los más cercanos al vehículo y a menudo en movimiento relativo al vehículo. En tercer lugar, el espectro Doppler difiere frecuentemente del espectro

U-shaped.

Si se comparan las respuestas al impulso en los canales vehiculares con los canales macrocelulares se observan diferencias importantes. Primero, los taps en la respuesta al impulso del canal persisten durante un tiempo mucho más pequeño que en entornos macrocelulares debido a los rápidos cambios de los difusores. Finalmente, la distribución de amplitud que mejor describe este entorno es la distribución Nakagami con un factor m menor que uno, es decir, incluso peor que una distribución Rayleigh. En cualquier caso, la caracterización de canales vehiculares está aún en sus comienzos y aún no existen modelos estandarizados de canal para ninguno de las configuraciones del estándar DSRC.

Finalmente, de las medidas realizadas en [2] se han recopilado sus conclusiones principales en la Tabla 1.

Escenario	Exponente de pérdidas	Delay spread (medio)	Delay spread (10 %-90 %)	Doppler spread (medio)
Carretera	$\gamma=1$ $\gamma=1.85$	247 ns 41 ns 141-398 ns ¹ 165 ns 53/127 ns ³	120-340 ns 50-190 ns 30-300 ns 0.3/0.5-90/260 ns ³	92 Hz ⁵ 120 Hz 761-978 Hz
Rural	$\gamma=1.79$	52 ns 22 ns	20-150 ns	108 Hz ⁵ 782 Hz
Suburbano	$\gamma=2.5$	104 ns	40-110 ns 20-230 ns	
Urbano	$\gamma=1.61$	47 ns 158-321 ns ² 373 ns 126/236 ns ⁴	30-1100 ns 3/20-270/570 ns ⁴	33 Hz ⁵ 86 Hz 263-341 Hz ²
¹ Separación Tx-Rx de 300-400 m; ² Separación Tx-Rx de 200-600 m; ³ Densidad de tráfico baja/alta; ⁴ Antena dentro/fuera del coche; ⁵ Valor medio;				

Tabla 1: Tabla resumen de los canales de propagación V2V

Aunque no ha habido investigaciones empíricas específicas a 700 MHz, los primeros trabajos que examinaron las características del canal a 900 MHz en exteriores fueron [13] y [14]. Sin embargo, su trabajo no cubría entornos como los vehiculares. En [13] sólo se estudió la configuración V2I para bajas velocidades de menos de 8 km/h. Los resultados presentados por [14] se limitaban a las pérdidas de propagación y *delay spread* en escenarios estáticos. Ahora que el espectro de los 700 MHz está abierto, hay una gran necesidad de investigar meticulosamente y entender las comunicaciones a esta frecuencia.

Otras investigaciones más actuales como [15] caracterizan el canal en varios escenarios a 700 MHz. Se llevaron a cabo en entornos urbanos y autopistas bajo condiciones reales de tráfico. Se calculó las estadísticas de retardo y Doppler para determinar los problemas del canal y su influencia en el diseño de OFDM (*Orthogonal Frequency Division Modulation*)

basado en el sistema DSRC.

En [16] se estudian las pérdidas de propagación en banda estrecha a 900 MHz en tres distritos representativos de Finlandia que incluyen entornos urbanos y suburbanos, aportando valores prácticos de coeficiente de pérdidas y desviación típica de desvanecimientos en situación de NLOS.

Esta banda de operación tiene un ensanchamiento Doppler mucho menor que a 5.9 GHz y no habrá interferencia entre portadoras. El tiempo de coherencia a 700 MHz es mayor que el que se observa en DSRC y por tanto más permisivo a la hora de aumentar la longitud del paquete pero con mayor probabilidad de IES (Interferencia entre símbolos).

Por otra parte, en la Tabla 2, se resumen los valores del exponente de pérdidas y la desviación estándar del *shadowing* entorno a la media extraídos de campañas de medida de canal realizadas en diferentes entornos vehiculares.

Parámetro	Urbano	Suburbano	Carretera	Rural
γ/σ (dB)	1,61/3,4[18]	2,32/7,1 y 2,75/5,5[8]	1,85/3,2[18]	1,79/3,3[18]
γ/σ (dB)	1,68/1,7[17]	1,59/2,1[17]	1,77/3,1[17]	-
γ_1/σ_1 (dB)	-	2/,5,6[8] y 2,1/2,6[19]	1,9/2,5[19]	2,3/3,2[19]
γ_2/σ_2 (dB)	-	3,8/4,4[8] y 4/8,4[19]	4/0,9[19]	4/0,9[19]
d_c (m)	-	100[8]	220[19]	226[19]

Tabla 2: Parámetros para los modelos a una y dos pendientes generados de campañas de medida

5. Sistema de medida

Para caracterizar canales que son dinámicos, como es el caso de los entornos vehiculares, es necesario realizar campañas de medida empíricas, que permitan entender y modelar el comportamiento de dichos canales. Por lo tanto, para la realización de estas medidas, se pueden emplear sistemas tanto en el dominio de la frecuencia como en el dominio del tiempo. En este caso, se propone la utilización de un sistema de medidas basado en la frecuencia, utilizando una sonda de canal basada en el analizador de redes vectorial (ARV) ROHDE & SCHWARZ ZVA24 y un analizador de espectros HP8590L de Agilent/ Hewlett Packard todo ello automatizado con un software implementado sobre MATLAB.

Aprovechando la instrumentación que dispone el grupo en radio y comunicaciones inalámbricas del ITEAM se decidió implementar un sistema de medida de pérdidas de propagación consistente en la generación y transmisión de un tono de frecuencia puro, y la medida de la envolvente de la señal recibida tanto para el tono de 5.9 GHz como el de 700 MHz. Generalmente los parámetros de canal de banda estrecha son, además de las pérdidas de propagación, los efectos Doppler y las estadísticas de desvanecimiento a corto y largo plazo (*small/large-scale fading*).

Aunque a continuación se describen los sistemas de medida por separado, en la Fig. 1



Figura 1: Imagen del vehículo (a)Rx y (b)TX junto con el equipamiento de a bordo.

se muestra el sistema de medida completo, en el vehículo receptor y transmisor, donde se instalan los equipos tanto de 5.9 GHz como 700 MHz para que se pueda hacer una comparativa de ambas configuraciones para las mismas condiciones del entorno de propagación.

5.1. Esquema de medida a 5.9 GHz

El sistema de medida está compuesto por tres PCs trabajando bajo entorno Windows, dos receptores GPS, un analizador de redes ZVA-24 de Rohde & Schwarz, antena transmisora y receptora, amplificadores, generador de señal, baterías, cables y conectores. El ARV se ha utilizado en modo medidor de potencia, midiendo directamente el parámetro $b2$. Como elemento para captar o transmitir las ondas electromagnéticas se tienen antenas monopolo en $\lambda/4$ para 5.9 GHz diseñadas y construidas por el grupo. El amplificador de potencia utilizado en transmisión permite transmitir con una PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) igual a 23.8 dBm. Para disponer de un amplio margen dinámico el sistema incluye un sistema de amplificación de hasta 68.12 dB. Además por la movilidad del sistema es imprescindible disponer de un sistema de alimentación portátil basado en el uso de baterías e inversores. Éstas son de 75 Ah e inversores de 12V-CC a 220 V-CA,, permitiendo una autonomía del orden 90 minutos. Los cables tienen una atenuación media de 1.15 dB/m a 5.9 GHz. El nivel de ruido térmico en Rx está relacionado con el ancho de banda del filtro de frecuencia intermedia (FI) del ARV que oscila entre -80 dBm y -75 dBm para anchos de FI de 10 y 100 kHz, respectivamente. De forma experimental el margen dinámico obtenido con esta configuración está entre 70 y 80 dB aproximadamente. Con los equipos disponibles se puede analizar tanto la atenuación como el *fading* con una resolución de $\lambda/4$ y no sólo a la frecuencia que ocupa este proyecto sino que la configuración flexible del sistema permitirá hacer medidas en otras zonas del espectro. En la práctica, la elección del ancho de banda de FI responde a un compromiso entre margen dinámico en la medida y tiempo de adquisición. Así, valores altos permiten analizar con

mayor resolución espacial el comportamiento de desvanecimientos a corto plazo, mientras que valores bajos del ancho de banda de FI permiten un mayor alcance entre Tx y Rx. Además, en ambos sistemas, emisor y receptor, usaremos un elemento que nos permitirá determinar en todos los casos la posición de los mismos. Lo haremos mediante el GPS de Garmin, GPSMAP78. Finalmente en las figuras 2 y 3 se detalla el esquema de los sistemas a 5.9 GHz, uno instalado en el vehículo que actúa de emisor, y el que lo hace de receptor.

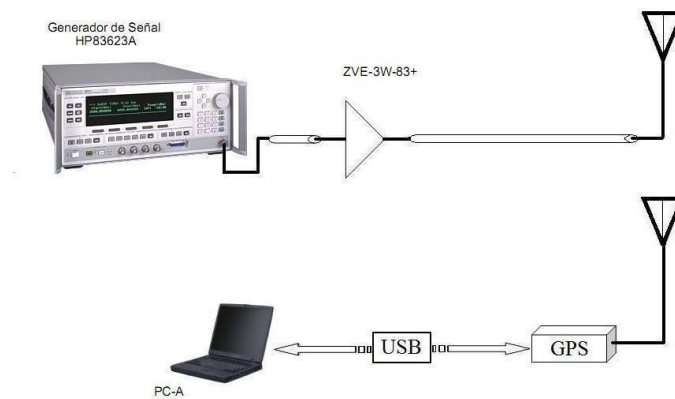


Figura 2: Esquema del sistema transmisor a 5.9 GHz

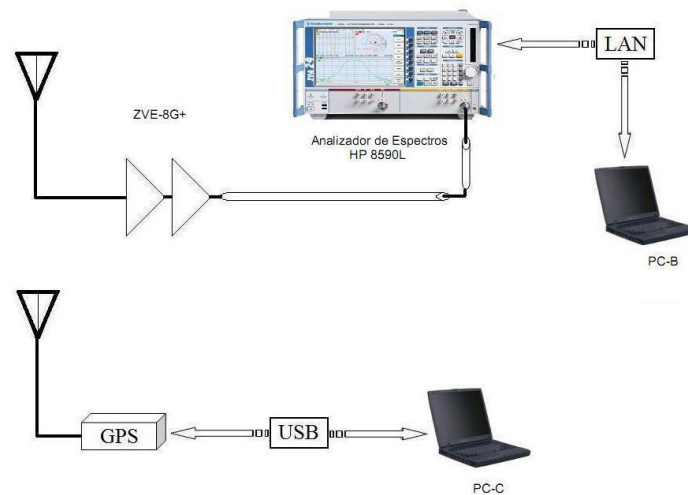


Figura 3: Esquema del sistema de medida a 5.9 GHz

5.2. Esquema de medida a 700 MHz

El sistema de medida está compuesto por tres PCs trabajando bajo entorno Windows, dos receptores GPS, un analizador de espectros vectorial HP 8590L de Agilent, antena transmisora y receptora, amplificadores, generador de señal, baterías, cables y conectores. Los GPS son los mismos que se utilizan en el sistema de medida a 5.9 GHz de Garmin, GPSMAP78. El sistema de alimentación de los equipos es común al utilizado para 5.9 GHz. A continuación se recogen en la tabla 3 los valores más importantes de ganancia de los componentes.

Cable 4 m.	-6 dB
Cable 50 cm.	-0,35 dB
Amplificador	43 dB
Ganancia antena monopolo máxima	5,44 dB
Ganancia antena monopolo a 90°	-2,56 dB
Propagación	[-36, -86] dB

Tabla 3: Valores característicos de los componentes

Y de forma esquemática, el sistema se puede resumir en las figuras 4 y 5 que se muestran a continuación:

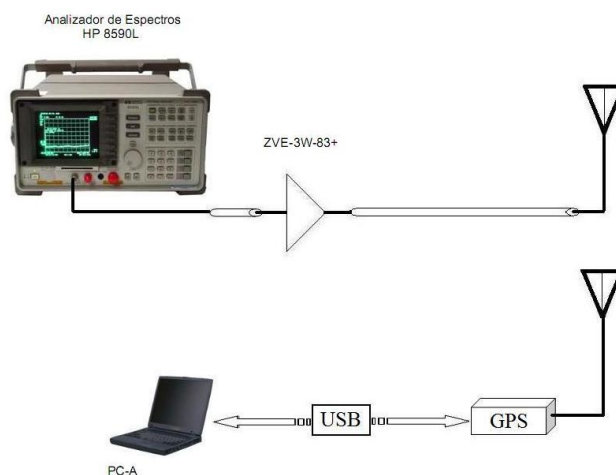


Figura 4: Esquema del sistema transmisor a 700 MHz

5.3. Automatización del sistema

A pesar de que el procedimiento de configuración y adquisición de medidas parece sencillo, en la mayoría de ocasiones se van a presentar en una campaña de medidas como

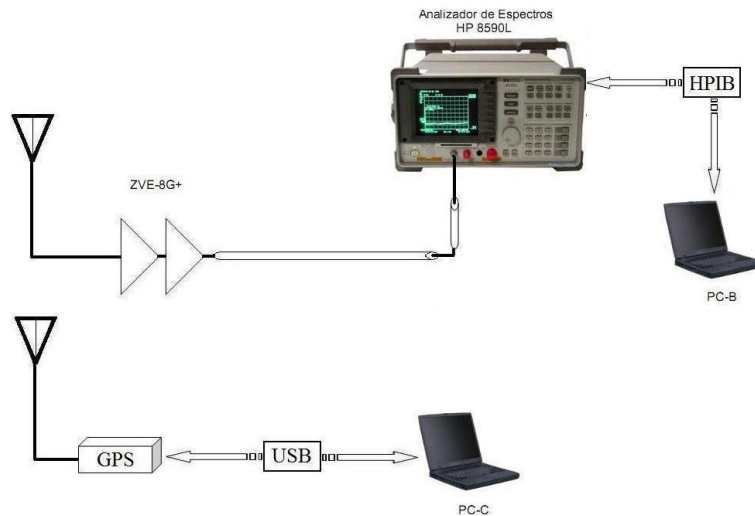


Figura 5: Esquema del sistema de medida a 700 MHz

en el caso de esta memoria y por tanto la toma de medidas puede ser bastante incómoda si se hace por un proceso manual. El proceso de medida se llevó a cabo controlando de forma remota y automatizada toda la campaña de medidas. Se han programado una serie de funciones para automatizar el proceso. Si además se desea tener la posibilidad de variar ciertos parámetros de configuración, como por ejemplo la frecuencia central al realizar un barrido en frecuencia, se justifica el esfuerzo de automatizar el proceso de medida. Por tanto la automatización del proceso de medida aporta la ventaja de poder realizar una campaña de medidas de manera sencilla y en un intervalo de tiempo más o menos reducido.

El entorno de trabajo utilizado ha sido MatLab, principalmente porque los datos obtenidos serán posteriormente procesado en dicho programa. Se han programado una serie de funciones que agrupan las instrucciones de forma adecuada para que tanto la configuración como el proceso de captura de medidas sea correcto, de forma que respete los tiempos de establecimiento de las instrucciones por parte del equipo y la captura ordenada y controlada de los datos que arroja el analizador de redes vectorial o el analizador de espectros vectorial. Como las medidas que se van a tomar van a ser durante un periodo de tiempo o hasta un determinado número de barridos, el núcleo fundamental de la programación es aquel que controla el número de medidas que se llevan realizadas o el tiempo transcurrido. Una vez programadas todas las funciones necesarias para la automatización del proceso de medida, el siguiente paso es el de trasladarlo a un entorno gráfico. De esta manera el manejo de todas las funciones anteriores resultará más sencillo, visual y compacto, ya que las integramos en un solo programa. Los detalles sobre la interfaz gráfica de control remoto de los equipos se puede consultar en [20].

PARTE PRÁCTICA

Una vez definido el sistema de medida y lo que se quiere estudiar, llega el momento de ponerlo en práctica y elegir los lugares más apropiados para llevar a cabo una campaña de medidas para caracterizar de forma experimental el canal de comunicaciones. Durante este proceso hay una adquisición de datos durante un periodo concreto de tiempo, en el que se intenta tomar el mayor número de medidas en diferentes escenarios de propagación para finalmente mediante un procesado estadístico de los datos, ser capaces de conocer las características de las variaciones de la señal en los diferentes entornos.

6. Escenarios de medida

La campaña de medidas se llevó a cabo entre los meses de Marzo y Junio en distintos escenarios de la ciudad de Valencia. Lo que se busca con esto es poder tener una caracterización de los entornos típicos que se describieron en el apartado 3. En este sentido nos encontramos con una primera y muy poco selectiva clasificación de los entornos en los que normalmente nos podemos encontrar en una ciudad Europea debido a su crecimiento histórico. Éstos serán los siguientes:

6.1. Urbano

Sobre la zona urbana de la ciudad de Valencia se han tomado medidas en 3 localizaciones distintas. En estos entornos nos vamos a encontrar vías de un único sentido y un carril y vías de doble sentido y varios carriles. La densidad de peatones es mucho mayor que en cualquiera de las secciones anteriores y los edificios y la vegetación está mucho más presente. Además en el caso de Valencia, debido a su evolución histórica, se distinguen internamente 3 entornos urbanos.

Casco antiguo

El núcleo histórico y monumental de la ciudad se caracteriza por sus calles estrechas, de un único carril de circulación y en la mayoría de los casos con suelo adoquinado. La topología desordenada de estas calles es muy difícil de generalizar, abundan las curvas y las intersecciones con otras calles de características similares. Además, están rodeadas de edificios de unos 20 m. de altura, lo cual genera en muchas ocasiones aspecto tubular. La densidad de tráfico en el casco histórico es muy baja, apenas circulan coches, sin embargo abundan los peatones y las calles peatonales. La Fig. 6a ilustra este tipo de entornos ¹.

¹Indicar que la imagen de Google Earth tiene una antigüedad superior a tres años. Se ha usado aquí para ofrecer una idea de la morfología de la zona.

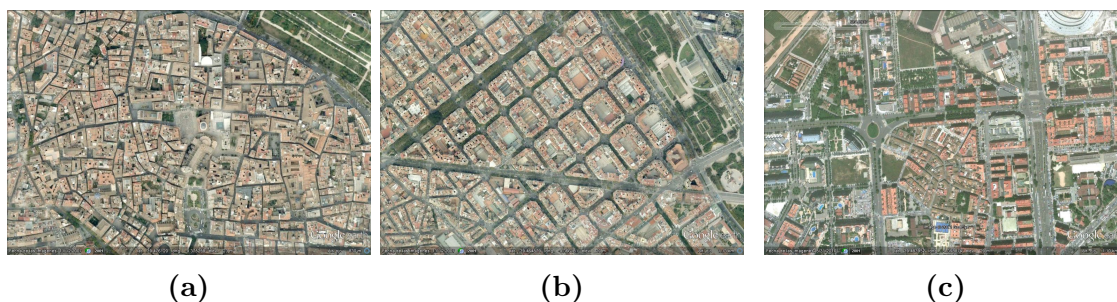


Figura 6: Escenarios urbanos; (a)Casco antiguo, (b)Ensanche y (c)Zona residencial

Ensanche

El aumento de la población obliga a la ciudad a crecer de forma organizada mediante una ampliación en cuadrícula. Por esto, la característica principal de los ensanches son calles rectas, largas y con intersecciones en ángulo recto o en chaflán. También se encuentran coches estacionados a ambos lados así como edificios y árboles en ambas aceras. La densidad de tráfico es media en estos entornos y su topología particular es la que se muestra en la Fig. 6b.

Zona residencial

En las afueras del núcleo de población se sitúan las zonas de nueva construcción que poseen espacios más abiertos que el resto de entornos urbanos. En éstos, predominan los espacios ajardinados, las calles de doble sentido y construcciones de gran tamaño y sin un patrón fijo respecto a su situación. Al igual que en el ensanche, la densidad de tráfico es media, notando que en la mayoría de situaciones encontramos coches estacionados a ambos lados de la carretera. En la Fig. 6c se muestra una zona residencial.

6.2. Suburbano

Los entornos suburbanos son característicos en ciudades que se han expandido y tienen carreteras alrededor de la ciudad que le dan un aspecto en anillo. Son principalmente avenidas y circunvalaciones que otorgan un tráfico más fluido a la población. Las avenidas disponen de mayor número de carriles que una calle y soportan mayor circulación de vehículos. Su principal función es aliviar el tráfico de las calles de sus alrededores. Son vías principales que comunican diferentes distritos de la ciudad y en las cuales convergen las vías secundarias. Estas y otras características se muestran en la Fig. 7

6.3. Carretera

Este tipo de entornos se caracterizan por ser vías rápidas, seguras, con gran capacidad de tráfico y varios carriles para cada sentido separados por una mediana de unos 2 m. El



Figura 7: Entorno suburbano; (a) Vista de aérea del entorno suburbano y (b) Entorno típico suburbano

ancho de los carriles es de 3.75 m. y normalmente su número oscila entre 2 y 4 debido a salidas e incorporaciones. La zona está delimitada por una verja y arcenes laterales que impide la entrada de peatones y tampoco existen cruces a nivel porque se realizarán mediante pasos superiores o inferiores. En estas vías por tanto se alcanzarán las mayores velocidades porque aunque existan curvas, éstas serán poco pronunciadas. Se pueden apreciar estas características en la Fig. 8.

6.4. Rural

El espacio rural es el territorio no urbano destinado a ser utilizado para el desarrollo de actividades de campo y de conservación ambiental, como espacios agrícolas, de pastoreo, forestal o de recreo. Esta diversidad de espacios rurales los hace tan difícil de definir como los espacios urbanos. Actualmente son espacios rurales, junto a los campos de cultivo agrícola, los almacenes agrícolas, campos fotovoltaicos, estaciones depuradoras, instalaciones deportivas y un largo etcétera. Todos caracterizados por amplios espacios abiertos y densidad de tráfico muy baja.

Los entornos rurales medidos se caracterizan por ser espacios abiertos con carreteras de no más de un carril para cada sentido de circulación, y con muy poca intensidad de tráfico, apenas circulan vehículos. Por lo tanto, el aspecto que más se da en los escenarios rurales es la del modelo de doble rayo propuesto en [23]. Este modelo indica que existen dos rayos principalmente que llegan con un pequeño desfase, debido a la diferencia de caminos, al receptor. Éstos son el rayo directo ya que nos encontramos en condiciones de LOS y el rayo que se refleja en el suelo, debido a la no existencia de más *scatters* en el entorno. De este modo el parámetro ρ es el que modela el índice de reflexión del suelo, el que nos interesa caracterizar.



(a)



(b)

Figura 8: Entorno de carretera; (a) Vista de aérea del entorno de carretera y (b) Entorno típico de carretera

7. Presentación de resultados

7.1. Modelos de pérdidas

Un modelo de pérdidas es aquel que predice la potencia recibida media correspondiente a la potencia recibida que fluctuante debido a los fenómenos de desvanecimiento por ocultamiento y desvanecimiento por multitrayecto. Así pues, a partir de la señal total recibida se van a presentar los modelos de *path loss* y *shadowing* de las medidas realizadas según el entorno de propagación. Para caracterizar cada escenario en este trabajo se utilizan 3 parámetros principalmente:

- Exponente de pérdidas (γ), hace referencia a las pérdidas medias de propagación referidas a la distancia entre Tx y Rx.
- \overline{PL}_0 , representa las pérdidas medias de propagación a la distancia de referencia, $d_0 = 1\text{metro}$
- Desviación típica σ_S , variable aleatoria con distribución Gaussiana de media cero, utilizada para modelar los desvanecimientos a largo plazo.

A continuación se analizan tramos concretos de circulación con condiciones específicas de tráfico con el fin de, posteriormente, obtener unas pérdidas de propagación medias para cada tipo de escenario.

Escenarios urbanos

La no homogeneidad de las urbes, nos fuerza a elaborar una división de sus entornos, y con ellos las características de la propagación V2V de cada uno. Por tanto los resultados que se presentan a continuación se han dividido en función de las zonas en las que se

ha medido. La toma de los datos se ha realizado en intervalos de 10 minutos siendo el posterior trabajo de procesado de los datos cuando se han identificado los resultados para espacios concretos.

Los entornos urbanos dan pie a numerosos estudios y clasificaciones, siendo la propuesta por nuestro grupo de trabajo la considerada más oportuna para el desarrollo de este proyecto de caracterización de canales vehiculares. Por tanto, la división de estos entornos, como se proponía en el apartado 6.1, da pie a su vez a forzar situaciones de visión directa (LOS), no visión directa (NLOS) y condiciones normales de tráfico.

Para comenzar los resultados de los entornos urbanos obtenidos con la sonda de canal a 5.9 GHz, lo hacemos por los resultados obtenidos en la avenidas de la ciudad. Existen 2 tipos principales de avenidas; las que poseen una mediana de unos 15 m. de ancho con espacios ajardinados denominadas "Grandes vías", en las que la intensidad de tráfico se cifra en una media de 60000 vehículos al día [21], siendo las principales arterias de la ciudad. Poseen 3 carriles por sentido de circulación y generalmente el tráfico es medio. A su vez, están completamente rodeadas de edificaciones en forma de grandes edificios de aproximadamente 30 o 40 m. de altura. Y las que no poseen dicha mediana y simplemente son vías con ambos sentidos de circulación, generalmente separadas con espacios de menos de 1.5 m. de ancho en los que una fila de árboles predomina sobre el resto de elementos de la misma. El tráfico en este segundo tipo de vías es muy parecido al de las primeras, con una media de 55000 vehículos al día de tráfico rodado, y una intensidad de circulación media. Con esta diferenciación se pretende también cuantificar la dependencia del tráfico en sentido opuesto.

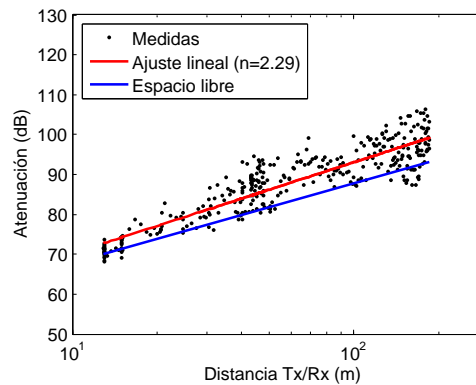


Figura 9: Grandes vías; Entorno de medida y resultados.

Con esta diferenciación presente, se ha obtenido un valor medio del exponente de pérdidas, $\bar{\gamma} = 1,97$ para avenidas sin mediana ancha y $\bar{\gamma} = 1,94$ para las que sí la tienen, con una desviación del valor medio de pérdidas de 0,52 y 0,35 respectivamente. Los otros parámetros calculados son las pérdidas de referencia \overline{PL}_0 que son de 52,57 dB para avenidas sin mediana ancha y 52,85 dB cuando las vías están separadas por una zona más amplia. De igual forma, $\sigma_S = 3,70dB$ y 3,95 dB respectivamente.

Es habitual encontrar también en Valencia, sobre todo rodeando el casco antiguo de la ciudad, una serie de calles muy amplias, de 3 o más carriles de circulación, en los que

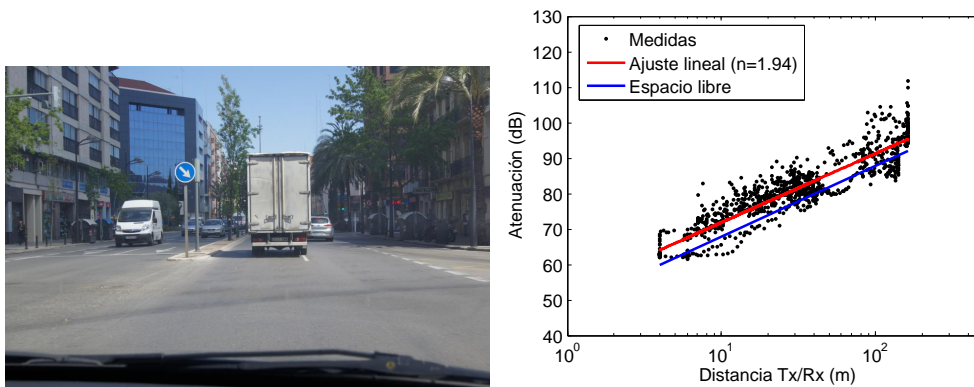


Figura 10: Avenidas; Entorno de medida y resultados.

el tránsito tiene solamente un sentido. Se caracterizan por ser espacios abiertos, aunque rodeados en su gran mayoría por edificios o espacios ajardinados. Se trata de unas vías donde el tráfico es realmente alto, con una intensidad media de 40000 vehículos diarios. Esto provoca un tráfico rodado denso durante la mayor parte del día.

La densidad de tráfico variable afecta directamente sobre el valor de γ que fluctúa entre 1,52 y 3,47, teniendo un valor medio $\bar{\gamma} = 2,31$ y una desviación igual a 0,62. El valor de $\overline{PL}_0 = 48,74$ dB con valores oscilantes entre 38,12 dB y 62,24 dB. El valor medio de σ_S es 4,47 dB con valor máximo de 6,98 dB y mínimo de 2,44 dB, lo cual hace suponer que la variabilidad del entorno entre situaciones LOS y NLOS afecta en gran medida.

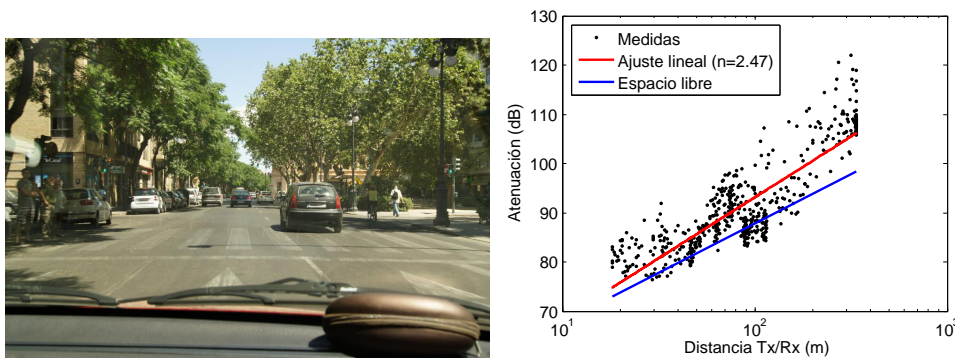


Figura 11: Vía amplia de sentido único; Entorno de medida y resultados.

Para caracterizar el casco antiguo de la ciudad de Valencia se ha procedido a la adquisición de medidas forzando, en sus calles, situaciones de visión directa, y posteriormente circulando por las mismas vías, pero en este caso forzando situaciones en las que la condición de no visión directa predomina.

Por una parte, los resultados para una propagación en un entorno de LOS son los siguientes: $\bar{\gamma} = 1,20$ con una desviación de la misma de 0,15. $\overline{PL}_0 = 60,88$ dB y $\sigma_S = 4,57$ dB. Por otra parte, para una propagación de NLOS, el valor medio del exponente de pérdidas es un poco superior, pero no excesivamente alto, $\bar{\gamma} = 1,51$. Sin embargo el valor medio medido de los parámetros $\overline{PL}_0 = 58,27$ dB y $\sigma_S = 4,96$ dB se encuentran en el

mismo orden que los obtenidos en condiciones de LOS.

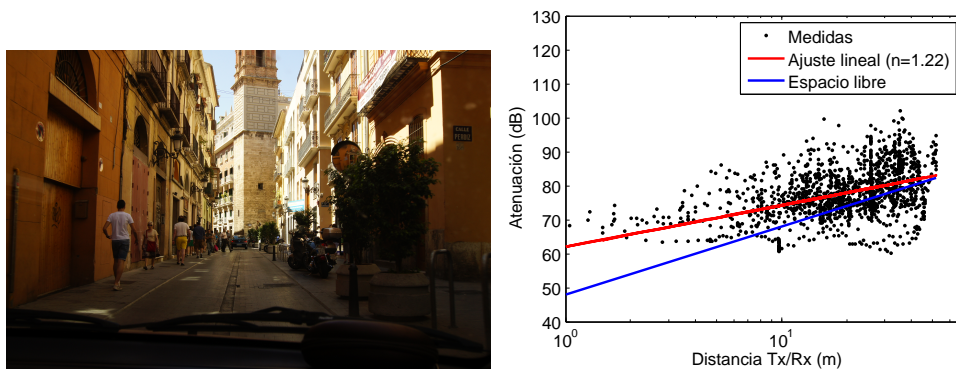


Figura 12: Casco antiguo LOS; Entorno de medida y resultados.

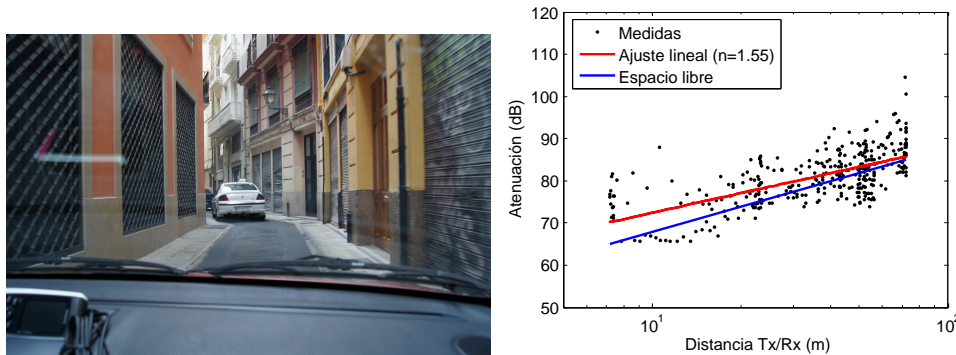


Figura 13: Casco antiguo NLOS; Entorno de medida y resultados.

Finalmente, los resultados en la zona correspondiente al ensanche, donde predominan las vías de un solo carril de circulación, en ocasiones dos carriles, pero siendo el segundo de ellos destinado únicamente al transporte público metropolitano. Las calles poseen abundantes árboles en ambos lados de la calzada y el follaje de los mismo cubre, en muchas ocasiones prácticamente la calzada. La otra característica fundamental es el modelo de construcción con todas las calles paralelas y perpendiculares entre sí, y las esquinas, con chafalán todas ellas y generando un amplio espacio abierto que contrasta con el de las calles. Para el estudio de esta zona se han forzado nuevamente condiciones de LOS y NLOS para observar el comportamiento de la propagación debido al entorno, aunque no se debe olvidar que muchas veces las condiciones normales de circulación influyen en que las medidas varíen entre sí.

En primer lugar, las medidas en condiciones de visión directa, muestran un $\bar{\gamma} = 1,59$ mientras que para un escenario donde predomina la propagación NLOS, $\bar{\gamma} = 1,66$.

Sin embargo, sí que observamos una diferencia entre el parámetro PL_0 para cada uno de los casos; para escenarios LOS, el valor medio es de 55,14 dB, mientras que para escenarios NLOS, esas pérdidas a la distancia de referencia son de 61,73 dB. En cuanto σ_S , muestra también la gran variabilidad de estos entornos, con valores que fluctúan entre

10,97 dB y 5,22 dB con un valor medio de 7,31 dB para escenarios de visión directa. Mientras que para NLOS, estos valores varían entre 7,33 dB y 3,30 dB, siendo la media $\overline{\sigma_S} = 4,64$ dB.

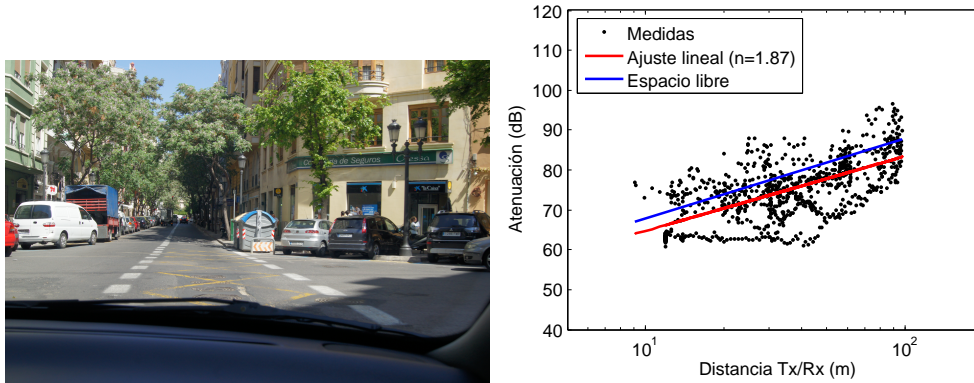


Figura 14: Ensanche LOS; Entorno de medida y resultados.

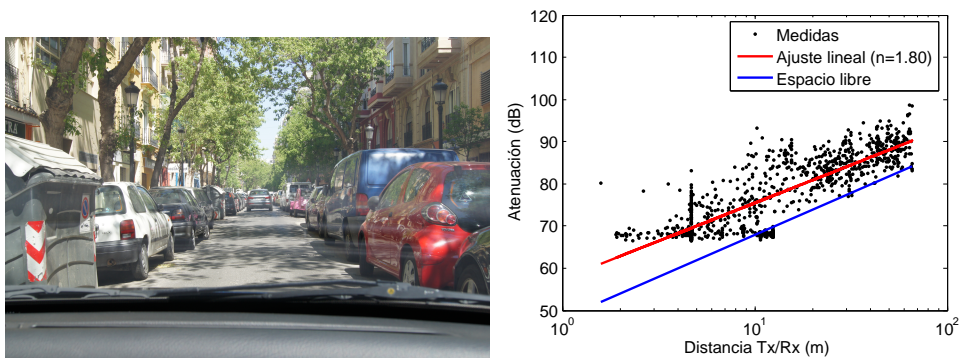


Figura 15: Ensanche NLOS; Entorno de medida y resultados.

La Tabla 4 muestra un resumen de los resultados obtenidos para los diferentes entornos urbanos a 5.9 GHz.

Parámetro	Avenidas	Grandes Vías	Calles de un sentido	Casco Antiguo LOS
γ	1,97	1,94	2,31	1,20
PL_0 (dB)	52,57	52,85	48,74	60,88
σ_S (dB)	3,70	3,95	4,47	4,57
Parámetro	Casco Antiguo NLOS	Ensanche LOS	Ensanche NLOS	Valor Medio
γ	1,51	1,59	1,66	1,74
PL_0	58,27	55,14	61,73	55,74
σ_S	4,96	7,31	4,64	4,94

Tabla 4: Parámetros para el modelo de pérdidas mediante aproximación lineal en los diferentes entornos urbanos a 5.9 GHz

Los resultados obtenidos en nuestra campaña de medidas no están demasiado unificados para la sonda de canal de 700 MHz. De nuevo podemos afirmar que en este tipo

de entornos la variabilidad es la tónica fundamental. Sin embargo en cuanto a los valores medios de cada uno de los parámetros estudiados muestran una tendencia a priori coherente.

Como las medidas a 700 MHz se toman de manera simultánea, el procedimiento es inmediato y nos permite obtener los mismos resultados pero en la otra banda de frecuencia y hacer una comparación directa. Por tanto, para avenidas simples se tiene un exponente de pérdidas medio $\bar{\gamma} = 2,33$ con desviación típica $\sigma_S = 5,07$ dB (ver Figura 16a) que se contrastan con las avenidas con gran mediana donde $\bar{\gamma} = 2,52$ y $\sigma_S = 4,32$ dB (ver Figura 16b). De igual forma, $\overline{PL_0} = 24,23$ dB en avenidas y $\overline{PL_0} = 21,67$ dB en grandes vías.

Para las calles amplias de un sentido y sin conocer a priori si se encuentra en situación de LOS o NLOS, los valores de $\bar{\gamma}$ y $\overline{PL_0}$ son de 2,6 y 28,45 dB respectivamente (ver Figura 16c) y la desviación típica de la variable aleatoria Gaussiana $\sigma_S = 4,44$ dB.

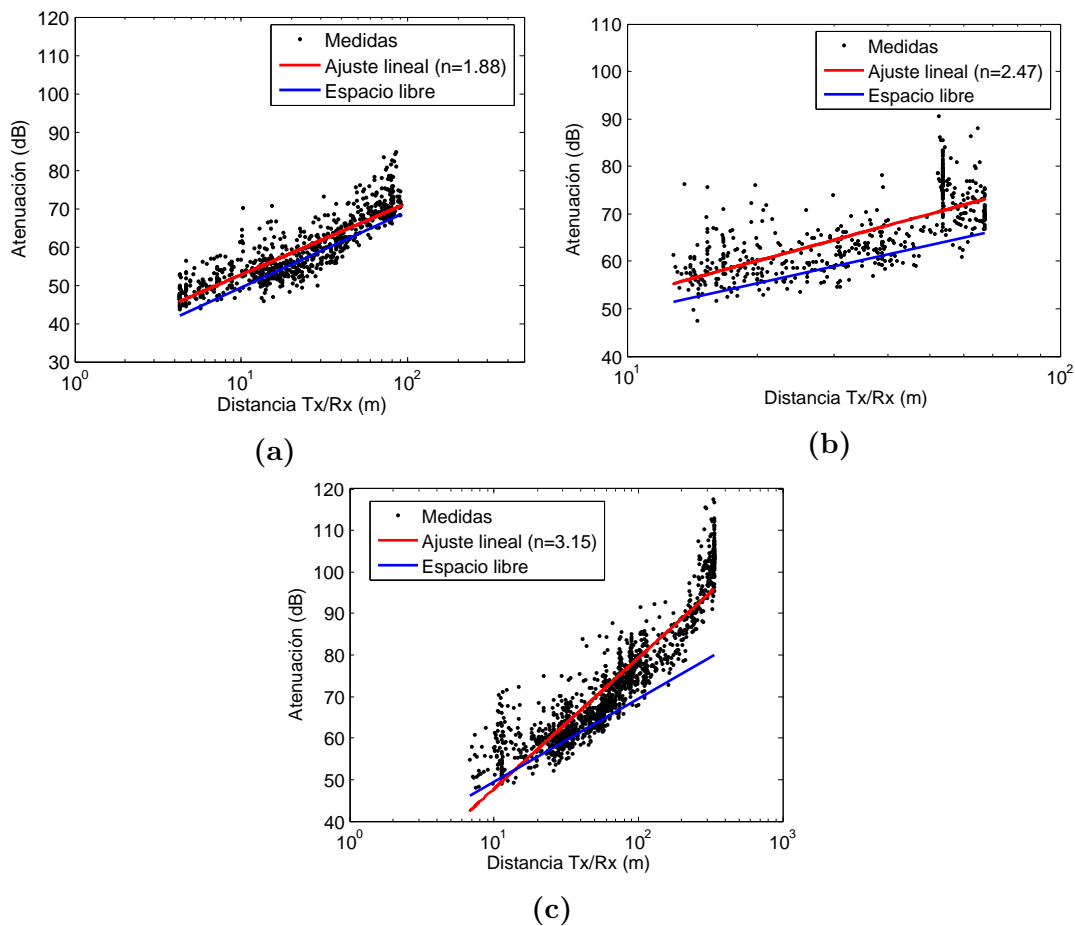


Figura 16: Resultados para entornos urbanos a 700 MHz; (a)Avenida simple, (b)Gran vía y (c)Calle sentido único

En el casco antiguo, en situación de LOS $\bar{\gamma} = 1,6$, $\sigma_S = 5,69$ dB y $\overline{PL_0} = 40,48$ dB (ver Figura 17). Cuando se fuerza una situación sin línea de visión directa, NLOS, el

exponente de pérdidas $\bar{\gamma}$ varía y se sitúa en 1,81 (ver Figura 18) y las pérdidas medias a la distancia de referencia de 1 metro \overline{PL}_0 se mantiene en un valor de 36,61 dB. Para terminar, σ_S en situación de NLOS es igual a 5,28 dB.

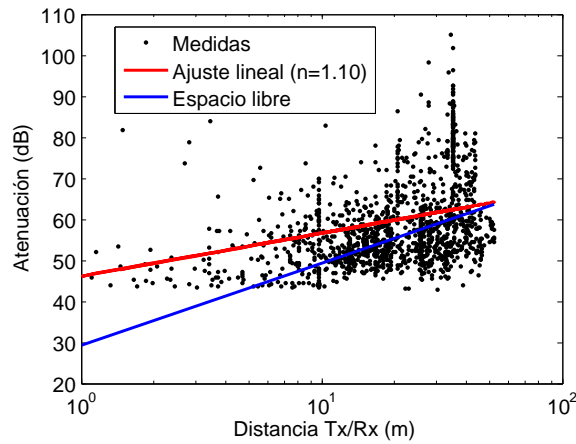


Figura 17: Casco antiguo LOS a 700 MHz.

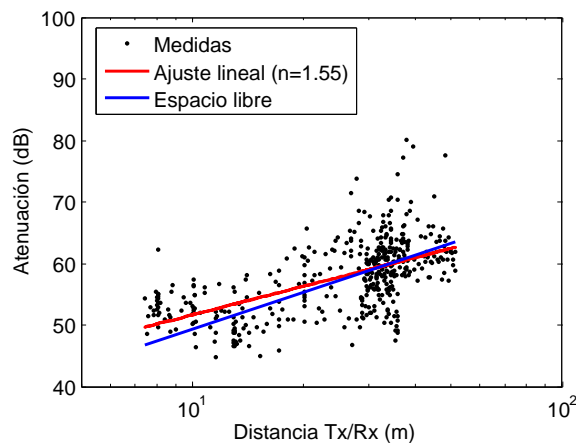


Figura 18: Casco antiguo NLOS a 700 MHz.

Para terminar la zona urbana, se pasa a presentar los resultados de la zona de ensanche, donde predominan las calles perpendiculares. Por una parte, en situación de visión directa, $\bar{\gamma} = 1,34$, $\sigma_S = 8,10$ dB y $\overline{PL}_0 = 24,8$ dB (ver Figura 19). Por otra parte, en situación de NLOS, $\bar{\gamma} = 1,98$, $\sigma_S = 5,96$ dB y $\overline{PL}_0 = 37,35$ dB (ver Figura 20).

La Tabla 5 muestra un resumen de los resultados obtenidos para los diferentes entornos urbanos a 700 MHz.

Escenarios suburbanos

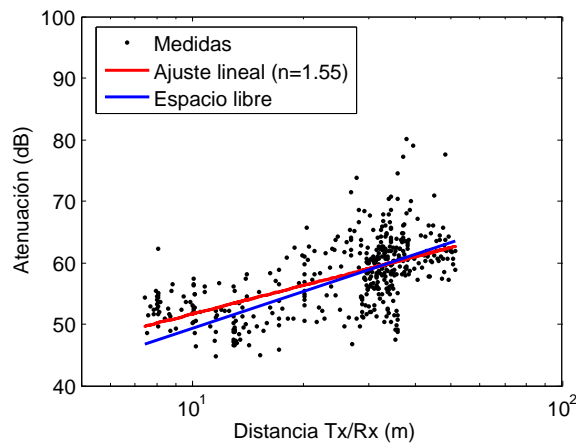


Figura 19: Ensanche LOS a 700 MHz.

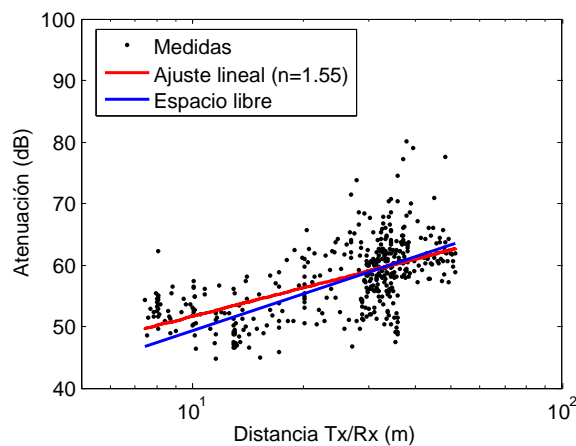


Figura 20: Ensanche NLOS a 700 MHz.

Parámetro	Avenidas	Grandes Vías	Calles de un sentido	Casco Antiguo LOS
γ	2,33	2,52	2,6	1,26
PL_0 (dB)	24,23	21,67	28,45	40,48
σ_S (dB)	5,07	4,32	4,44	5,69
Parámetro	Casco Antiguo NLOS	Ensanche LOS	Ensanche NLOS	Valor Medio
γ	1,81	1,34	1,98	1,98
PL_0	36,61	24,8	37,35	30,51
σ_S	5,28	8,1	5,96	5,55

Tabla 5: Parámetros para el modelo de pérdidas mediante aproximación lineal en los diferentes entornos urbanos a 700 MHz

Escenario S1: Las medidas se llevaron a cabo en la Avenida de los Naranjos de la ciudad de Valencia. Se trata de una avenida de 1.7 km de longitud, con 4 carriles de tráfico rodado para cada sentido de circulación, separados por dos vías de tranvía. La avenida tiene aproximadamente 67 m. de ancho, contando las zonas de aparcamiento en batería, disponibles a ambos lados, y las aceras. Además separa la Universitat Politècnica y la Universitat de València, por lo que a ambos lados hay amplios espacios abiertos,

alternando con edificios próximos a la calzada no muy altos, con una altura que oscila entre 20 y 30 m. aproximadamente, y árboles de mediana altura a lo largo de toda la avenida situados a ambos lados. Las características morfológicas del escenario de medida se asemejan a lo que en la literatura viene a denominarse zona suburbana [22] [17]. En la figura 21(a) se muestra una vista en perspectiva de la zona urbana.

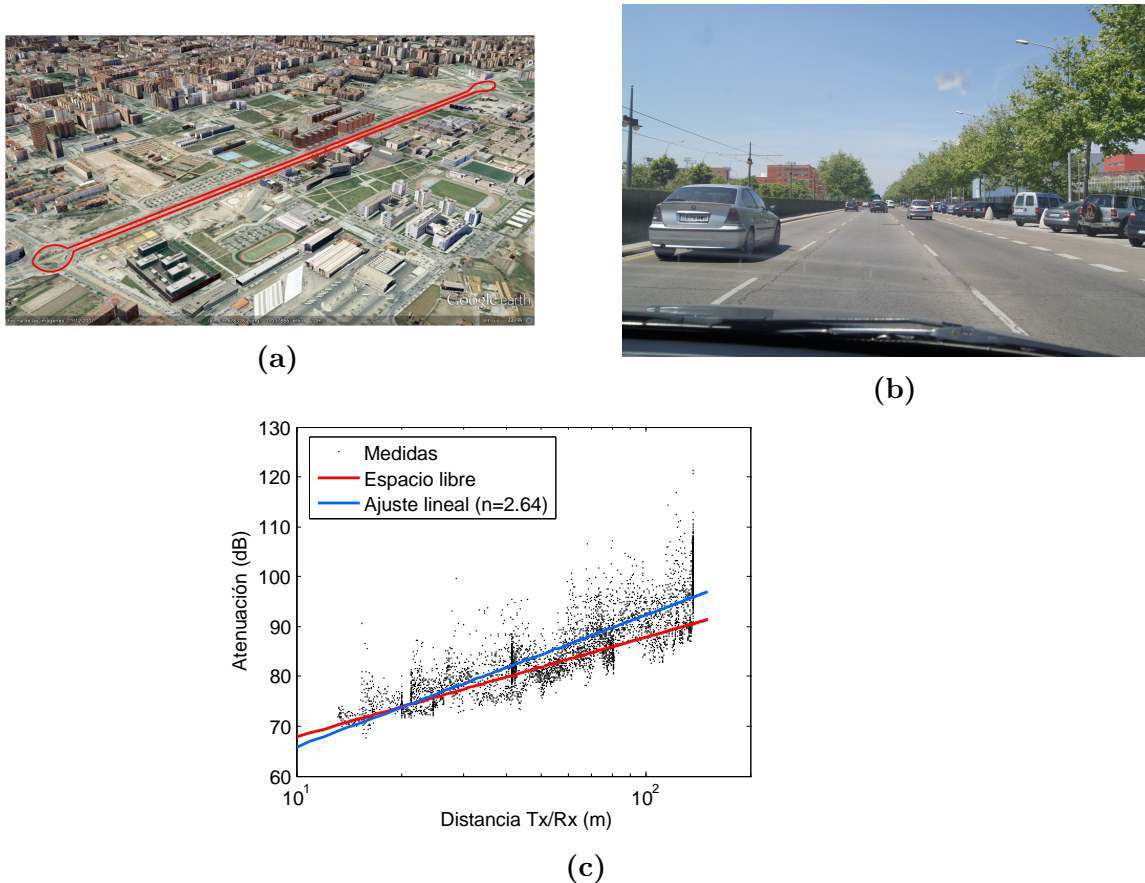


Figura 21: Escenario suburbano 1; (a) Vista en perspectiva de la zona urbana donde se han realizado las medidas. En trazo rojo se indican los trayectos seguidos por los vehículos Tx/Rx, (b) Vista del vehículo Rx desde el vehículo Tx y (c) Resultado con ajuste lineal.

Las medidas se realizaron con los vehículos Tx/Rx circulando en el mismo sentido, recorriendo varias veces la avenida en un trayecto total superior a 10 km en periodos de 5 minutos o menos para casos particulares. Para más información, se realizaron un día laboral (miércoles) entre las 11:30 y las 13:00 horas, con una intensidad media de tráfico rodado de 2022 vehículos/hora, según los datos proporcionados por el Ayuntamiento de Valencia [21]. Las medidas se realizaron en la mayor parte del tiempo en condiciones de visión directa, si bien por cuestiones de circulación hubo momentos en los que se interponía algún vehículo entre el Tx y Rx, obstruyendo la línea de visión directa, sobre todo cuando se pretendía aumentar la separación Tx/Rx.

Los resultados obtenidos en este escenario a 5.9 GHz se corresponden con los que se ven en la figura 21c que se corresponden con un exponente de pérdidas $\gamma = 2,64$, $\overline{PL}_0 = 49,27$ dB y un valor de desviación típica $\sigma = 4,51$ dB.

Escenario S2: Otra de las localizaciones es la conocida ronda Norte de Valencia, aquí nos encontramos con entre 4 y 5 carriles en cada sentido separados por una estrecha mediana de baja altura que circulan en por el radio exterior de la ciudad, teniendo en el margen interior edificios y parques y en el exterior una gran extensión de huerta. La vía tiene una extensión de 9 Km y las medidas se realizaron un día laboral entre las 12:20 y las 13:00 con densidad de tráfico variable según el tramo de 3788 a 2662 vehículos/hora y con los vehículos Tx/Rx circulando en el mismo sentido. En esta ocasión se buscaron situaciones de visión directa para distancias mayores aunque fue inevitable la obstrucción de la línea de visión directa. En esta ocasión se tomaron medidas en periodos de 10 minutos.

Para 5.9 GHz se ha obtenido para el exponente de pérdidas, un valor medio de todas las medidas realizadas de $\bar{\gamma} = 2,23$ con una desviación típica de 0,52. El parámetro \overline{PL}_0 , es decir, las pérdidas medias obtenidas para una distancia de referencia de 1 m., es de 47,35 dB. Por su parte, σ_S en entornos suburbanos tiene un valor medio de 4,46 dB. Destacar que los valores para el exponente de pérdidas medidos varían entre 1,57 y 3,19. Por su parte la variación del parámetro \overline{PL}_0 va desde 30 dB hasta 58,81 dB, valores muy bajos. La variación de la desviación típica de la variable aleatoria S que modela el *long term fading* en cada entorno, varía, para los suburbanos, entre 1,84 y 6,98 dB. En la figura 22 se aprecia una vista típica de esta vía y los resultados obtenidos.

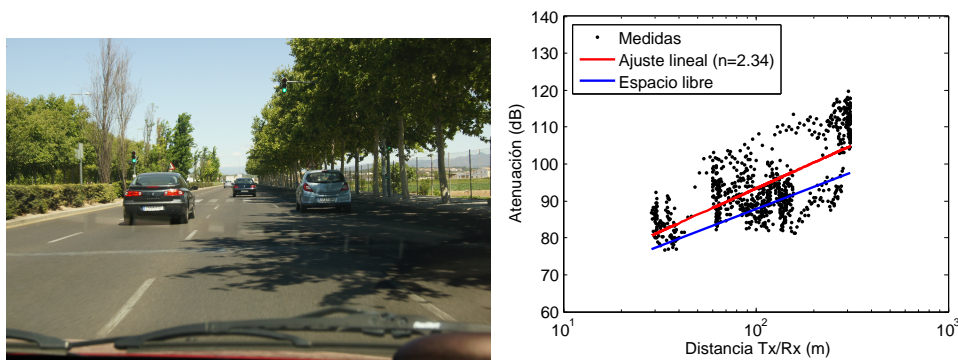


Figura 22: Escenario suburbano 2; Entorno de medida y resultados.

Existe un caso particular al modelar la atenuación con la distancia. Se aprecia en entornos suburbanos como, al aumentar del orden de centenas de metros la distancia entre el transmisor y el receptor, existe una distancia crítica a partir de la cual el exponente de pérdidas cambia de forma creciente, obteniendo así el modelo a dos pendientes. En los resultados obtenidos en nuestra campaña de medidas podemos diferenciar dos zonas separadas por un valor de distancia crítica $d_c = 300$ m.. En la primera zona el exponente de pérdidas γ_1 tiene un valor de 1,26, mientras γ_2 , exponente de pérdidas para la segunda zona, posee un valor de 15,79 (ver Figura 23). Destacar también las desviaciones del

parámetro S nuevamente, obteniendo $\sigma_{S1} = 5,56$ dB y $\sigma_{S2} = 3,92$ dB.

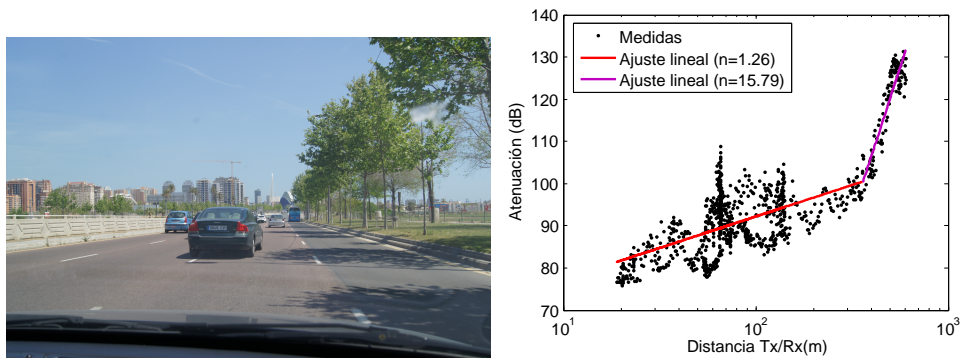


Figura 23: Escenario suburbano 2 con modelo 2 pendientes; Entorno de medida y resultados.

Para 700 MHz se tiene un valor medio del exponente de pérdidas $\bar{\gamma} = 2,17$. Las pérdidas medias son $\overline{PL_0} = 32,61$ dB y σ_S en entornos suburbanos tiene un valor medio de 5,83 dB (ver Figura 24).

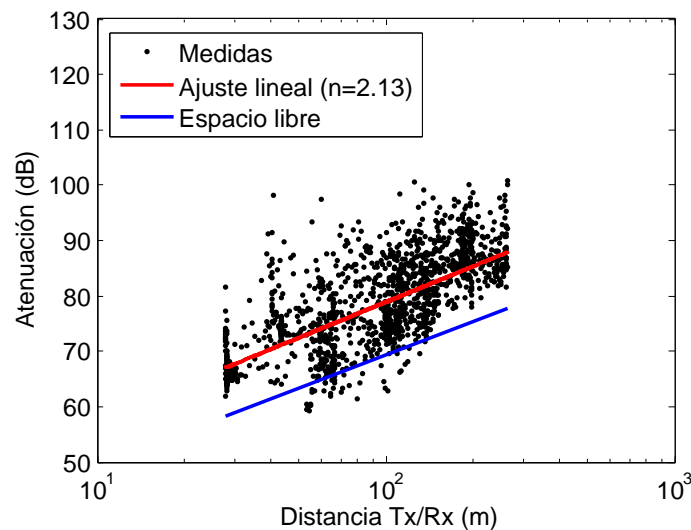


Figura 24: Escenario suburbano 2 con modelo de pendiente única a 700 MHz

Escenarios de carretera

La adquisición de las medidas en entornos de carretera han sido tomadas en condiciones normales de tráfico, en vías de 3 o más carriles para cada uno de los sentidos de circulación. Con lo cual, la señal se ve afectada por el efecto del resto de vehículos que transitan; adelantamientos entre vehículos y camiones, acceso de vehículos por carriles de aceleración, etc. Los registros tomados son de 10 minutos en los que se conglomeran una gran cantidad

de sucesos de tránsito en la calzada. Y las principales vías medidas son las carreteras CV-21, CV-309, CV-35 y A7 en la provincia de Valencia.

Podemos diferenciar dos tipos de resultados para entornos de carretera, los registros en los que las distancias son muy grandes entre el transmisor y el receptor, donde el modelo a dos pendientes es el que mejor ajusta los datos de medidas adquiridos. Además, como curiosidad, a distancias todavía mucho más elevadas, las pérdidas se pueden modelar con una tercera pendiente mucho más abrupta que la anterior a partir de un d_{c2} . Y luego registros en los que la mejor aproximación para un modelo de pérdidas es la regresión lineal de las medidas, con un exponente de pérdidas, un valor de pérdidas a una distancia de referencia de 1 metro y la desviación típica de la variable Gaussiana que caracteriza el entorno, como hemos hecho hasta ahora.

Si se centra el estudio para la frecuencia de 5.9 GHz, el valor medio de la pendiente de pérdidas para pendiente única, es $\bar{\gamma} = 1,97$ (ver Figura 25a). Por su parte el valor de $\overline{PL_0} = 49,95$ dB y $\overline{\sigma_S} = 5,45$ dB. El modelo a dos pendientes nos deja ver una distancia crítica $d_c = 210$ m., siendo el resto de valores $\bar{\gamma}_1 = 1,59$, $\bar{\gamma}_2 = 3,38$, $\overline{\sigma_{S1}} = 5,47$ dB y $\overline{\sigma_{S2}} = 5,19$ dB (ver Figura 25b).

El caso particular de triple pendiente para distancias muy altas, en este caso una $d_c = 700$ m., muestra un exponente de pérdidas $\bar{\gamma}_3$ mucho más grande que en los casos anteriores, por lo que, como conocemos, la atenuación aumenta de mayor manera a distancias mayores (ver Figura 25c). Ese valor medio es 7.35, encontrándonos en este caso una $\overline{\sigma_{S3}} = 3,52$ dB.

Para contrastar los resultados, a la frecuencia de 700 MHz, suponiendo un modelo a una única pendiente, ésta es $\bar{\gamma} = 2,57$. Además $\overline{PL_0} = 24,19$ dB y $\overline{\sigma_S} = 3,72$ dB.

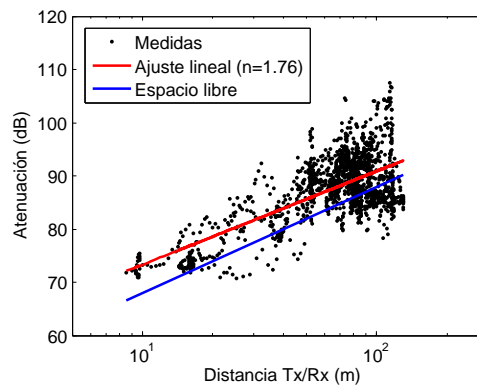
El modelo a dos pendientes nos deja ver una distancia crítica $d_c = 85$ m., siendo el resto de valores $\bar{\gamma}_1 = 1,37$, $\bar{\gamma}_2 = 3,53$, $\overline{\sigma_{S1}} = 4,86$ dB y $\overline{\sigma_{S2}} = 3,78$ dB (ver Figura 27).

Escenarios rurales

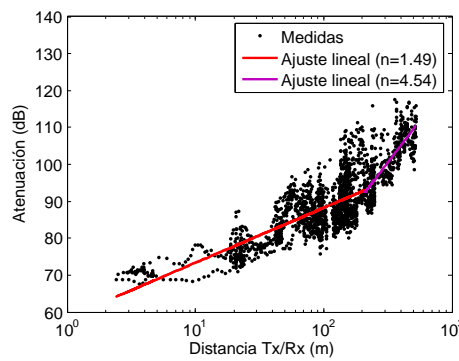
En los resultados obtenidos en escenarios rurales a 5.9 GHz, podemos observar que en el modelo a dos rayos que mejor encaja con nuestros datos medidos, el valor del parámetro $\bar{\rho}$ es igual a 0.45, cuyos valores para los diferentes registros varía entre 0.4 y 0.5 (ver Figura 28).

En cuanto al modelo de pérdidas de propagación de dos pendientes obtenemos una distancia crítica media de separación entre ambos terminales a 250 m.. Éste valor fluctúa entre 200 m. y 300 m. para las medidas tomadas en nuestra campaña. De este modo podemos diferenciar entre la parte del registro con valores de distancias entre el transmisor y el receptor menores a la crítica, y otra parte con valores superiores a d_c . Para el primer tramo obtenemos un valor medio de exponente de pérdidas $\bar{\gamma}_1 = 1,62$ y $\overline{\sigma_{S1}} = 3,24$ dB, mientras que para el segundo tramo $\bar{\gamma}_2 = 3,92$ y $\overline{\sigma_{S2}} = 2,83$ dB. (ver Figura 29).

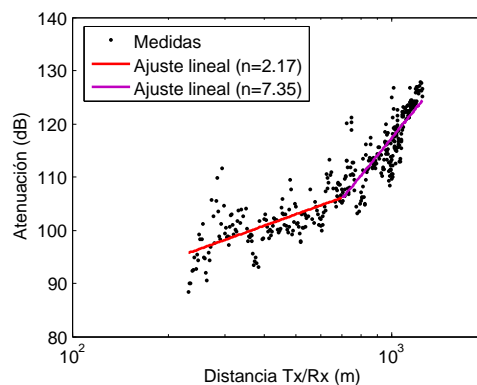
En cambio, si el análisis de resultados se centra a 700 MHz, el modelo a dos rayos que mejor ajuste tiene con los datos medidos se corresponde a aquel que $\bar{\rho}$ es igual a 0,45 (ver Figura 30), pues modela el coeficiente de reflexión del suelo.



(a)



(b)



(c)

Figura 25: Modelos de pérdidas para entornos de carretera; (a)Modelo a 1 pendiente, (b)Modelo a 2 pendientes y (c)Modelo a 3 pendientes.

Tabla resumen

La Tabla 6 recoge los resultados obtenidos en nuestra campaña de medidas utilizando la sonda de canal a 5.9 GHz. En ella se resumen todos los parámetros que hemos utilizado para modelar el comportamiento de las pérdidas de propagación en entornos vehiculares.

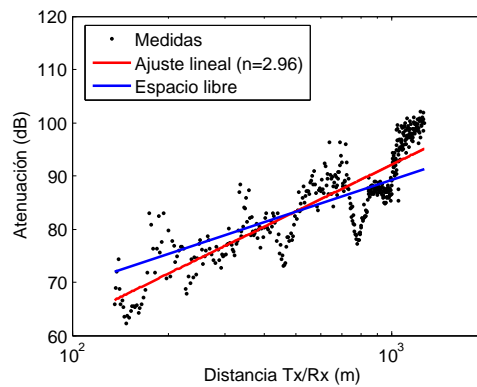


Figura 26: Modelo a una pendiente en escenario de carretera a 700 MHz

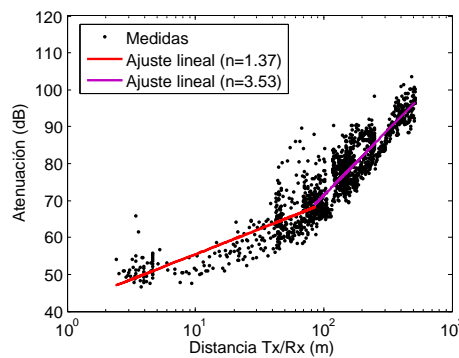


Figura 27: Modelo a dos pendientes en escenario de carretera a 700 MHz

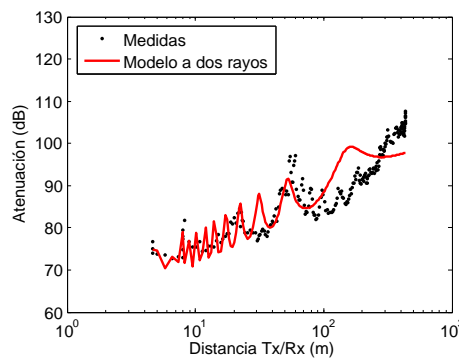


Figura 28: Modelo a dos rayos en escenario rural

Y la siguiente Tabla 7 recopila todos los resultados a la frecuencia de 700 MHz en los distintos escenarios de medida:

7.2. Dispersión en frecuencia

Los efectos de desvanecimiento a pequeña escala están producidos por la propagación multicamino en distancias de aproximadamente decenas de longitudes de onda. Se carac-

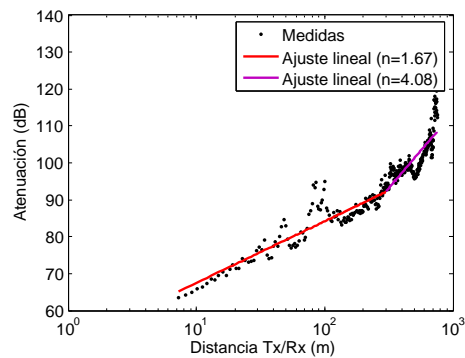


Figura 29: Modelo a dos rayos en escenario rural

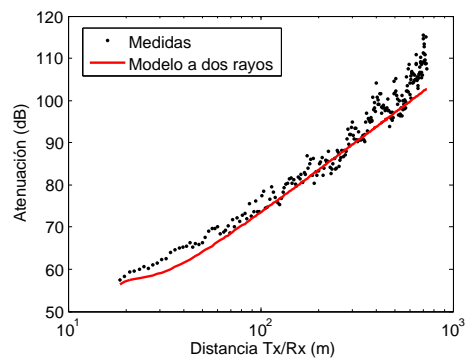


Figura 30: Modelo a dos rayos en escenario rural

Parámetro	Urbano	Suburbano	Carretera	Rural
γ	1,74	2,23	1,97	-
$PL_0(dB)$	55,74	47,35	49,95	-
$\sigma_S(dB)$	4,94	4,46	5,45	-
ρ	-	-	-	0,45
γ_1	-	1,26	1,59	1,62
$\sigma_{S1}(dB)$	-	5,56	5,47	3,24
γ_2	-	15,79	3,38	3,92
$\sigma_{S2}(dB)$	-	3,92	5,19	2,83
$d_c(m)$	-	300	210	250
γ_3	-	-	7,35	-
$\sigma_{S3}(dB)$	-	-	3,52	-
$d_{c2}(m)$	-	-	700	-

Tabla 6: Parámetros para el modelo a una, dos y tres pendientes de nuestra campaña de medidas

terizan por ser muy frecuentes en el tiempo y llegar a tener profundidades de hasta 20 o 30 dB. La causa de estas variaciones es la suma en contrafase de dos o más componentes multicamino de la señal transmitida que llegan al receptor en el mismo instante de tiempo

Parámetro	Urbano	Suburbano	Carretera	Rural
γ	1,98	2,17	2,57	-
$\overline{PL}_0(dB)$	30,51	32,61	24,19	-
$\sigma_S(dB)$	5,55	5,83	3,72	-
ρ	-	-	-	0,45
γ_1	-	-	1,37	-
$\sigma_{S1}(dB)$	-	-	4,86	-
γ_2	-	-	3,53	-
$\sigma_{S2}(dB)$	-	-	3,78	-
$d_c(m)$	-	-	85	-

Tabla 7: Parámetros para el modelo a una y dos pendientes de nuestra campaña de medidas a 700 MHz

o instantes muy próximos entre sí. Por lo que podemos tener importantes cambios en la fase de la señal recibida para pequeños desplazamientos. Además de la propagación multicamino, otros factores que provocan o afectan a los desvanecimientos a pequeña escala son:

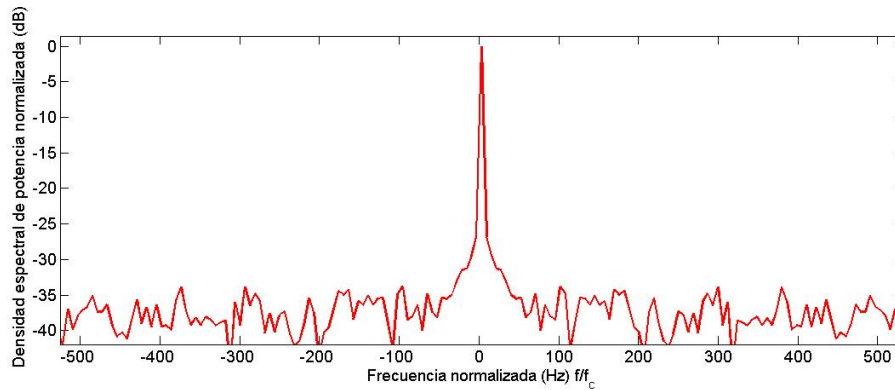
- La velocidad relativa de los vehículos. Lo que, como hemos visto anteriormente, provoca un desplazamiento de la frecuencia denominado efecto Doppler.
- El ancho de banda de la señal. Es absolutamente necesario que el canal sea de banda estrecha, es decir, que el ancho de banda de la señal transmitida B sea menor que el ancho de banda de coherencia B_c , ya que en caso contrario provocaría distorsión entre símbolos, y con ello más desvanecimientos a pequeña escala y más profundos.

A continuación se han dividido los resultados según el tipo de entorno, con lo que podremos diferenciar dos grandes entornos que llamaremos estáticos y variables. Los entornos variables los encontramos principalmente en la zona urbana donde tanto peatones como vehículos están en continuo movimiento. Por otra parte, en los entornos estáticos no hay tanta variabilidad de los difusores, para forzar esta situación se presentarán los resultados obtenidos en zonas rurales. A su vez en cada gran grupo se han estudiado tres casos: 1) ambos vehículos parados, 2) un único vehículo en movimiento y 3) ambos vehículos en movimiento.

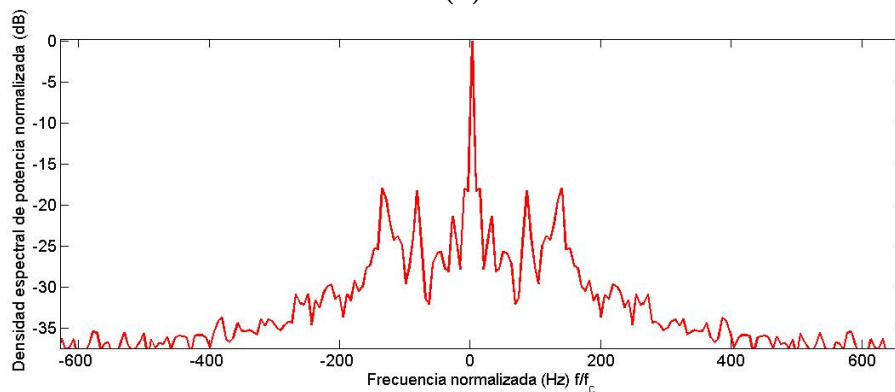
Entorno estático

En la Figura 31a se observa la dispersión en frecuencia introducida por el canal V2V en términos de densidad espectral de potencia, o espectro Doppler, en función de la frecuencia normalizada. La densidad espectral de potencia de la Figura 31a se ha obtenido aplicando la FFT (*Fast Fourier Transform*) sobre una traza de medidas de 5000 puntos, equivalente a 966 ms., en el que la velocidad media del Tx, $v_{Tx} = 0$ km/h, y Rx, $v_{Rx} = 0$ km/h. La máxima dispersión en frecuencia, ν_{max} , es aproximadamente 0 Hz y sólo se observa la componente de visión directa. La Figura 31b equivale al mismo tipo de trazas pero con el Rx parado y el Tx desplazándose a una velocidad $v_{Tx} = 12$ km/h,

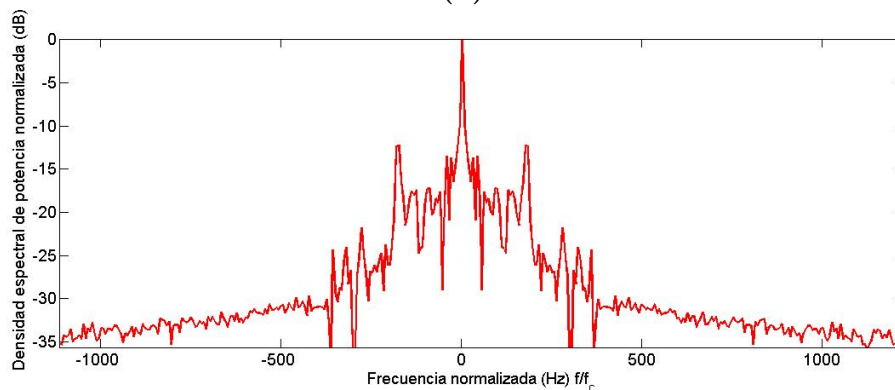
así se estima una dispersión $\nu_{\max} = 140$ Hz un valor muy superior al que se estimaría haciendo $\hat{\nu}_{\max} = (v_{Tx} + v_{Rx})/\lambda = 64$ Hz. Los resultados mostrados en la Figura 31c se han obtenido para un registro de medidas donde $v_{Tx} = 39,24$ km/h y $v_{Rx} = 30,96$ km/h pero en sentidos contrarios, donde $\nu_{\max} = 180$ Hz y $\hat{\nu}_{\max} = 383$ Hz.



(a)



(b)



(c)

Figura 31: Espectros Doppler en entorno estático; (a) Vehículos parados, (b) Un vehículo en movimiento y (c) Ambos vehículos en movimiento.

Entorno variable

Del mismo modo pero en entornos mucho más variables se tienen densidades espectrales de potencia en función de la frecuencia para Tx y Rx parados como el de la Figura 32a donde se no se observa ensanchamiento Doppler y sólo se aprecia la componente directa. En cambio si el Tx se desplaza a $v_{Tx} = 21,6$ km/h y el Rx permanece parado, se estima una dispersión $\nu_{\max} = 100$ Hz (ver Figura 32b) un valor parecido al que se estimaría haciendo $\hat{\nu}_{\max} = (v_{Tx} + v_{Rx})/\lambda = 118$ Hz. Finalmente, si ambos vehículos se desplazan a unas velocidades medias v_{Tx} y v_{Rx} iguales a 51,48 km/h y 50,94 km/h, respectivamente. Se observa un espectro Doppler como el de la Figura 32c donde se estima una dispersión en frecuencia de $\nu_{\max} = 150$ Hz y un valor teórico $\hat{\nu}_{\max}$ de 559 Hz.

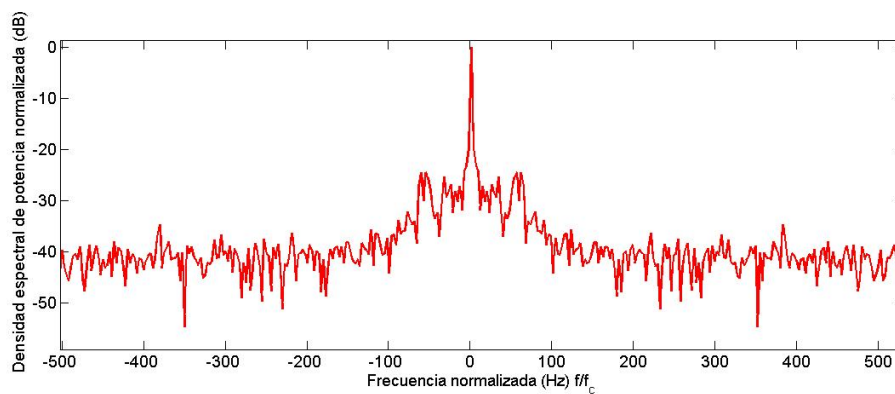
8. Conclusiones

En este trabajo se ha llevado a cabo una campaña de medidas V2V en la ciudad de Valencia tras una exhaustiva planificación de los escenarios de medidas, tales como escenarios urbanos, suburbanos, rurales y de carreteras. Además se ha tenido en cuenta la densidad de tráfico para seleccionar las localizaciones. A continuación se ha analizado las pérdidas medias de propagación en términos de la distancia Tx/Rx, habiéndose obtenido valores del exponente de pérdidas de propagación dentro del rango de variación de los publicados en la literatura para este tipo de escenarios y aportando nuevos e interesantes datos.

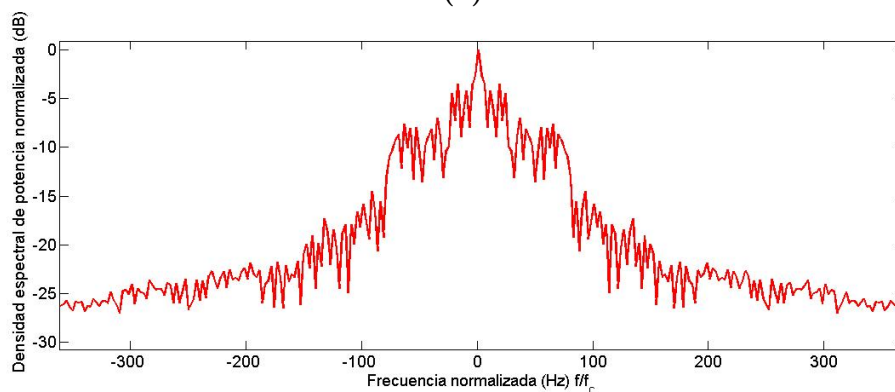
En concreto, para escenarios urbanos, se ha observado que el aspecto tubular de las calles da pie a un gran número de reflexiones en los edificios, que a la vista de los resultados obtenidos, ayudan a la propagación de la señal vehicular en condiciones de no visión directa.

Al comparar con los resultados obtenidos en la Tabla 6 con los otros autores y que se presentaban en las tablas Tabla 1 y Tabla 2, para entornos urbanos, de carretera y rurales el ajuste es muy bueno, tanto para los exponentes de pérdidas γ como para los exponentes en los modelos de dos pendientes y distancias críticas. En los entornos suburbanos, también muestra un buen ajuste de γ para una pendiente, en cambio, se observa mayores diferencias en los modelos de dos pendientes donde nuestros valores obtenidos de $\gamma_2 = 15,79$ difieren de $\gamma_2 = 3,8$ y $\gamma_2 = 4$ de las otras campañas de medidas.

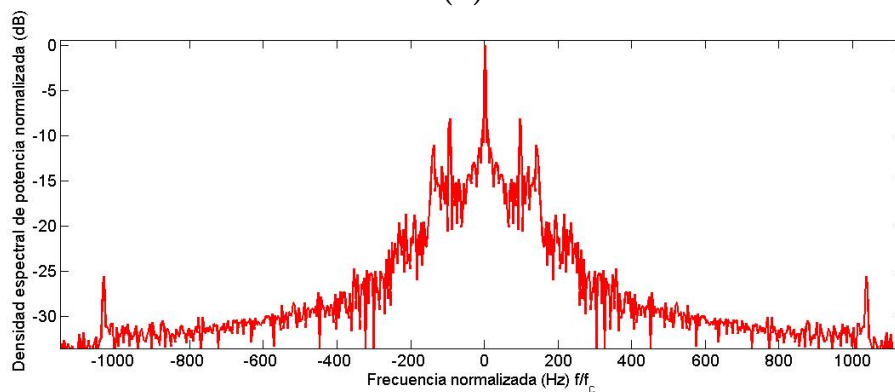
En el estudio realizado sobre la dispersión en frecuencia se observa que en entornos estáticos, cuando no hay ningún movimiento, sólo se aprecia la componente directa. A medida que aumenta la velocidad de los móviles hay un ensanchamiento y para grandes velocidades y variabilidad del entorno (peatones, coches...), se superpone el espectro clásico Jakes o espectro en forma de "U".



(a)



(b)



(c)

Figura 32: Espectros Doppler en entorno variable; (a) Vehículos parados, (b) Un vehículo en movimiento y (c) Ambos vehículos en movimiento.

9. Agradecimientos

El presente estudio ha sido financiado en parte por el Programa de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Universitat Politècnica de València (PAID-05-10). El proyecto ha estado vigente durante todo el 2011 y de él se han comprado los equipos que usamos.

Las campañas han exigido un gran esfuerzo que ha hecho necesario implicar a un grupo de personas numeroso. Me gustaría agradecer a los técnicos de laboratorio Bernardo Bernardo-Clemente y Antonio Vila por la construcción de las antenas y su apoyo en el montaje de la sonda de canal. También agradecer a los profesores Lorenzo Rubio, Vicent Miquel Rodrigo y Juan Reig por supervisar toda la investigación y colaborar en las campañas de medidas y por último y no menos importante a mis compañeros Herman Fernández y Andrés José Campuzano por todo el apoyo prestado y trabajo realizado juntos.

A. Bibliografía

Referencias

- [1] The Car-to-Car Communication Consortium (C2CC).
- [2] Boeglen, H.; Hilt, B.; Lorenz, P.; Ledy, J.; Poussard, A.-M.; Vauzelle, R.; , "A survey of V2V channel modeling for VANET simulations," Wireless On-Demand Network Systems and Services (WONS), 2011 Eighth International Conference on , vol., no., pp.117-123, 26-28 Jan. 2011
- [3] G.A.M.A. Ingram, "Six time- and frequency-selective empirical channel models for vehicular wireless lans, IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 2, pp. 4-11, Diciembre 2007.
- [4] Paier, A.; Karedal, J.; Czink, N.; Hofstetter, H.; Dumard, C.; Zemen, T.; Tufvesson, F.; Mecklenbrauker, C.F.; Molisch, A.F.; , "First Results from Car-to-Car and Car-to-Infrastructure Radio Channel Measurements at 5.2GHZ," Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007. PIMRC 2007. IEEE 18th International Symposium on , vol., no., pp.1-5, 3-7 Sept. 2007
- [5] Maurer, J.; Fugen, T.; Wiesbeck, W.; , "Narrow-band measurement and analysis of the inter-vehicle transmission channel at 5.2 GHz," Vehicular Technology Conference, 2002. VTC Spring 2002. IEEE 55th , vol.3, no., pp. 1274- 1278 vol.3, 2002
- [6] Matolak, David W.; Sen, Indranil; Xiong, Wenhui; , "Channel Modeling for V2V Communications," Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services, 2006 Third Annual International Conference on , vol., no., pp.1-7, July 2006
- [7] Eggers, P.C.F.; Brown, T.W.C.; Olesen, K.; Pedersen, G.F.; , "Assessment of Capacity Support and Scattering in Experimental High Speed Vehicle to Vehicle MIMO Links," Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th , vol., no., pp.466-470, 22-25 April 2007
- [8] Lin Cheng; Henty, B.E.; Stancil, D.D.; Fan Bai; Mudalige, P.; , "Mobile Vehicle-to-Vehicle Narrow-Band Channel Measurement and Characterization of the 5.9 GHz Dedicated Short Range Communication (DSRC) Frequency Band," Selected Areas in Communications, IEEE Journal on , vol.25, no.8, pp.1501-1516, Oct. 2007
- [9] Acosta, G.; Ingram, M.A.; , "Model development for the wideband expressway vehicle-to-vehicle 2.4 GHz channel," Wireless Communications and Networking Conference, 2006. WCNC 2006. IEEE , vol.3, no., pp.1283-1288, 3-6 April 2006
- [10] Xiongwen Zhao; Kivinen, J.; Vainikainen, P.; Skog, K.; , "Propagation characteristics for wideband outdoor mobile communications at 5.3 GHz," Selected Areas in Communications, IEEE Journal on , vol.20, no.3, pp.507-514, Apr 2002

- [11] Mangel, T.; Klemp, O.; Hartenstein, H.; , "A validated 5.9 GHz Non-Line-of-Sight path-loss and fading model for inter-vehicle communication, ITS Telecommunications (ITST), 2011 11th International Conference on , vol., no., pp.75-80, 23-25 Aug. 2011
- [12] Karedal, J.; Tufvesson, F.; Abbas, T.; Klemp, O.; Paier, A.; Bernado, L.; Molisch, A.F.; , "Radio Channel Measurements at Street Intersections for Vehicle-to-Vehicle Safety Applications," Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), 2010 IEEE 71st , vol., no., pp.1-5, 16-19 May 2010
- [13] Cox, D.; , "Delay Doppler characteristics of multipath propagation at 910 MHz in a suburban mobile radio environment," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on , vol.20, no.5, pp. 625- 635, Sep 1972
- [14] Davis, J.S., II; Linnartz, J.P.M.G.; , "Vehicle to vehicle RF propagation measurements," Signals, Systems and Computers, 1994. 1994 Conference Record of the Twenty-Eighth Asilomar Conference on , vol.1, no., pp.470-474 vol.1, 31 Oct-2 Nov 1994
- [15] Raffi Sevlian, Carl Chun, Ian Tan, Ahmad Bahai, and Ken Laberteaux, "Channel Characterization for 700 MHz DSRC Vehicular Communication," Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 2010, Article ID 840895, 9 pages, 2010.
- [16] Turkka, J.; Renfors, M.; , "Path loss measurements for a non-line-of-sight mobile-to-mobile environment, ITS Telecommunications, 2008. ITST 2008. 8th International Conference on , vol., no., pp.274-278, 24-24 Oct. 2008
- [17] Karedal, J.; Czink, N.; Paier, A.; Tufvesson, F.; Molisch, A.F.; , "Path Loss Modeling for Vehicle-to-Vehicle Communications," Vehicular Technology, IEEE Transactions on , vol.60, no.1, pp.323-328, Jan. 2011
- [18] Kunisch, J.; Pamp, J.; , "Wideband Car-to-Car Radio Channel Measurements and Model at 5.9 GHz," Vehicular Technology Conference, 2008. VTC 2008-Fall. IEEE 68th , vol., no., pp.1-5, 21-24 Sept. 2008
- [19] Lin Cheng; Henty, B.E.; Fan Bai; Stancil, D.D.; , "Highway and rural propagation channel modeling for vehicle-to-vehicle communications at 5.9 GHz," Antennas and Propagation Society International Symposium, 2008. AP-S 2008. IEEE , vol., no., pp.1-4, 5-11 July 2008
- [20] D.Balaguer, L. Rubio, V.M. Rodrigo, Caracterización teórica y experimental de canales vehiculares, PFC Noviembre 2011.
- [21] Intensidad de tráfico días laborables Abril 2012. Servici de transports i circulació. Ayuntamiento de Valencia.
- [22] L. Rubio, J. Reig y H. Hernandez, Propagation Aspects in Vehicular Networks, Vehicular Technologies: Increasing Connectivity. Miguel Almeida (Ed.): InTech, 2011. Disponible en:

- [23] Silva, E.; Carrijo, G.A.; , "A vectorial analysis of the two-ray model, Communications Systems, 2004. ICCS 2004. The Ninth International Conference on , vol., no., pp.607-611, 7-7 Sept. 2004

B. Artículos

H. Hernández, D. Balaguer, X. Part, J. Reig y L. Rubio, "Aspectos sobre la variabilidad temporal y dispersión en frecuencia del canal radio para comunicaciones vehiculares" . XXVI Edición del Simposio URSI, celebrado en Leganés, España, 7-9 de septiembre de 2011

A.J. Campuzano, H. Fernández, D. Balaguer, A. Vila, B. Bernardo-Clemente, V.M. Rodrigo-Peñarrocha, J. Reig, A. Valero-Nogueira and L. Rubio, "Vehicular-to-Vehicular Channel Characterization and Measurement Results". Revista WAVES 2012 del Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM)

H. Fernández, S. Avella, A.J. Campuzano, D. Balaguer, V.M. Rodrigo-Peñarrocha, J. Reig, and L. Rubio. "A survey of channel measurement techniques and narrowband channel parameters for vehicular communications", Conferencia Colombiana de Comunicaciones (COLCOM) IEEE 2012 celebrado en Santiago de Cali, Colombia, 16-18 de mayo de 2012.

A. J. Campuzano, H. Fernández, D. Balaguer, V. M. Rodrigo-Peñarrocha, J. Reig y L. Rubio. "Caracterización experimental en banda estrecha del canal radio Vehicular-to-Vehicular (V2V) a 5.9 GHz". XXVII Edición del Simposio URSI, a celebrar en Elche, España, 12-14 de septiembre de 2012.