

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA DE DOCTORADO



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TESIS DOCTORAL

PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL Y URBANISMO

**“ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS DE RIESGO PARA LA SEGURIDAD DE
LOS CICLISTAS DURANTE LAS MANIOBRAS DE ADELANTAMIENTO EN
CARRETERAS CONVENCIONALES”**

PRESENTADA POR: VICENTE FERRER PÉREZ

DIRIGIDA POR: DR. ALFREDO GARCÍA GARCÍA

Julio 2017

AGRADECIMIENTOS

La presente Tesis supone la culminación de un largo camino de trabajo y dedicación personal que no habría sido posible sin la ayuda y colaboración de muchas personas y a las que quiero agradecer todo el apoyo que me han prestado.

En primer lugar, mi especial agradecimiento a mi director de tesis, Alfredo García García, por su inestimable orientación y criterio. Siempre ha estado ahí, con su visión investigadora, insistiéndome y orientándome, y sin él y su perseverancia nunca habría llegado a culminar esta investigación. Bajo su tutela realicé mi Proyecto Final de Carrera y bajo su tutela he desarrollado esta Tesis.

Gracias a Carlos Llorca García, el artífice de toda la instrumentación y de todos los encajes técnicos que han permitido acoplar la instrumentación a las bicicletas con las que se han realizado las pruebas y procesar toda la información recopilada.

Mi agradecimiento también a José Manuel Campoy Ungría, ingeniero y ciclista. Él fue nuestro primer voluntario para circular con el prototipo inicial de bicicleta instrumentada en la prueba piloto, fundamental para validar y mejorar la metodología.

Y gracias, como no, a mis compañeros de Departamento y del Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras de la UPV, especialmente a Francisco Javier Camacho Torregrosa, Ana María Pérez Zuriaga, Griselda López Maldonado, Ana Tsui Moreno Chou, Fernando Agustín Gómez y Antonio Ángel-Domenech.

Esta tesis no hubiera sido posible sin los medios materiales del GIIC y el proyecto "CASEFU, Estudio experimental de la funcionalidad y seguridad de las carreteras convencionales", con referencia TRA2013-42578-P, subvencionado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

Finalmente, la estimación de la exposición al riesgo ciclista fue posible gracias al proyecto "Bike2lane - Mejora de la seguridad y Operación de carreteras convencionales con ciclistas", con referencia TRA2016-80897-R, subvencionado también por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad.

DEDICATORIAS

A mi padre, Vicente, a mi madre, Pilar, que nos dejó pero que siempre estará con nosotros, y a mi hermana Pilar. Todo se lo debo a ellos y a su sacrificio y apoyo.

A mi mujer, Estíbaliz, siempre a mi lado y soporte de mi familia y mi hogar, y a mis queridos hijos, Alejandro y Marcos, todo es por y para ellos. Gracias por vuestra paciencia y comprensión. Siento todo el tiempo que os he quitado. Intentaré devolvéroslo con todo mi amor.

Y a cuantos de una manera u otra me han apoyado en este camino.

Resumen

A nivel de siniestralidad, la maniobra de adelantamiento a ciclistas es una de las más peligrosas que se presentan en carreteras convencionales, tanto para los vehículos que circulan por la carretera como para los propios ciclistas. Ello se debe a que, para adelantar a los ciclistas, el vehículo adelantante debe colocarse en paralelo a éstos y, en muchos casos, invadir el carril destinado al tráfico opuesto durante un cierto periodo de tiempo. El ciclista se presenta como un usuario muy vulnerable y con una situación de clara inferioridad en su interacción con el resto de vehículos. En última instancia, la maniobra depende totalmente de los conductores, en un proceso de decisión complejo a llevar a cabo en muy breve espacio de tiempo y en el que interviene un gran número de variables.

La presente tesis doctoral se ha centrado en el análisis de este fenómeno del adelantamiento de vehículos a ciclistas en carreteras convencionales con el fin de profundizar en la determinación de los niveles de riesgo asociados.

Se ha revisado la situación en la que se encuentran las investigaciones en relación con las maniobras de adelantamiento de vehículos sobre ciclistas, con especial orientación hacia las metodologías de toma de datos in situ por entenderse que es, a través de dichas metodologías, el camino correcto para conocer con mayor profundidad las variables que intervienen y condicionan este fenómeno. Fruto de este análisis se ha llegado a la conclusión de que el sistema más adecuado es el basado en la utilización de una bicicleta instrumentada. Igualmente, se han revisado los estudios sobre los efectos aerodinámicos durante el adelantamiento dada su incidencia en la estabilidad y seguridad del ciclista.

A partir de ahí, se ha procedido a la instrumentación de una bicicleta de carretera y otra de montaña y se han recopilado datos in situ de adelantamientos a lo largo de varias carreteras convencionales de las provincias de Valencia y Castellón, tomándose datos sobre separaciones, velocidades, trayectorias, etc., a través de observaciones naturalistas.

Los datos recopilados han sido analizados y a partir de ellos se han establecido diferentes parámetros de riesgo asociados a la maniobra de adelantamiento y se han propuesto una serie de recomendaciones para el diseño y explotación de carreteras convencionales que permitan mejorar la seguridad de los ciclistas. Igualmente, se han recopilado los datos de accidentalidad tanto de las carreteras en las que se han realizado las pruebas como de otras adicionales de la Comunidad Valenciana, permitiendo establecer correlaciones entre los parámetros de riesgo y la accidentalidad previsible, desarrollándose un modelo para la estimación de accidentes.

Resum

A nivell de sinistralitat, la maniobra d'avançament a ciclistes és una de les més perilloses que es presenten en carreteres convencionals, tant per als vehicles que circulen per la carretera com per als propis ciclistes. Això se deu al fet que, per a avançar als ciclistes, el vehicle avancen-te ha de col·locar-se en paral·lel a estos i, en molts casos, invadir el carril destinat al tràfic oposat durant un cert període de temps. El ciclista es presenta com un usuari molt vulnerable i amb una situació de clara inferioritat en la seua interacció amb la resta de vehicles. En última instància, la maniobra depén totalment dels conductors, en un procés de decisió complex a dur a terme en molt breu espai de temps i en el que intervé un gran nombre de variables.

La present tesi doctoral s'ha centrat en l'anàlisi d'este fenomen de l'avançament de vehicles a ciclistes en carreteres convencionals a fi d'aprofundir en la determinació dels nivells de risc associats.

S'ha revisat la situació en què es troben les investigacions en relació amb les maniobres d'avançament de vehicles sobre ciclistes, amb especial orientació cap a les metodologies de presa de dades in situ per entendre's que és, a través de les dites metodologies, el camí correcte per a conèixer amb més profunditat les variables que intervenen i condicionen este fenomen. Fruit d'esta anàlisi s'ha arribat a la conclusió que el sistema més adequat és el basat en la utilització d'una bicicleta instrumentada. Igualment, s'han revisat els estudis sobre els efectes aerodinàmics durant l'avançament donada la seua incidència en l'estabilitat i seguretat del ciclista.

A partir d'ací, s'ha procedit a la instrumentació d'una bicicleta de carretera i una altra de muntanya i s'han recopilat dades in situ d'avançaments al llarg d'unes quantes carreteres convencionals de les províncies de València i Castelló, prenent-se dades sobre separacions, velocitats, trajectòries, etc., a través d'observacions naturalistes.

Les dades recopilats han sigut analitzats i a partir d'ells s'han establert diferents paràmetres de risc associats a la maniobra d'avançament i s'han proposat una sèrie de recomanacions per al disseny i explotació de carreteres convencionals que permeten millorar la seguretat dels ciclistes. Igualment, s'han recopilat les dades d'accidentalitat tant de les carreteres en què s'han realitzat les proves com d'altres addicionals de la Comunitat Valenciana, permetent establir correlacions entre els paràmetres de risc i l'accidentalitat previsible, desenrotllant-se un model per a l'estimació d'accidents.

Summary

Concerning road safety, overtaking to cyclists is one of the most dangerous maneuvers that appear in two-lane rural roads, for both motor vehicles and cyclists. The underlying cause is that vehicles must partially invade the opposite lane, while driving parallel to them. Cyclists are very vulnerable users, thus being under a situation of clear inferiority with the rest of vehicles. In addition, the maneuver entirely depends on drivers, involving many variables in a complex decision process to be carried out in a very short period of time.

The present thesis focuses on the analysis of the phenomenon of overtaking of motor vehicles to cyclists on two-lane rural roads in order to deepen the determination of the associated risk levels.

A detailed review of the existing literature about overtaking maneuvers has been performed, especially focusing on the data collection methodologies. This has allowed the author to an in-depth determination of what variables do intervene in the process. As a result, it has been concluded that the most appropriate system is based on the use of an instrumented bicycle. Likewise, studies on aerodynamic effects during overtaking have been reviewed, given their impact on the stability and safety of the rider.

From this point onwards, a road and mountain bike have been instrumented and in-situ data have been collected from overtaking maneuvers along several two-lane rural roads in the regions of Valencia and Castellón. The data collection process involves lateral distance, relative and absolute speeds, trajectories, etc., by means of naturalistic observations.

The data collected have been analyzed, obtaining different risk parameters associated with the overtaking maneuvers and proposing a series of design and operational recommendations for two-lane rural roads to improve the safety of cyclists. Likewise, the accident data of both the roads in which the tests were carried out and other additional ones of the Valencian Community have been compiled, allowing to establish correlations between the parameters of risk and the predicted accident rate, developing a model for estimating road crashes.

Índice de contenidos

ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
1 INTRODUCCIÓN	19
1.1 MARCO GENERAL.....	19
1.2 ÁMBITO DE APLICACIÓN Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.2.1 <i>Ámbito de aplicación</i>	21
1.2.2 <i>Problemática del colectivo ciclista</i>	21
1.2.3 <i>Regulación legal</i>	26
1.2.4 <i>Metodología de la investigación</i>	32
2 ESTADO DEL ARTE.....	35
2.1 LÍNEAS DE ESTUDIO.....	35
2.1.1 <i>Sobre la instrumentación y toma de datos</i>	35
2.1.2 <i>Sobre efectos aerodinámicos durante el adelantamiento</i>	78
2.2 VARIABLES ESTUDIADAS.....	84
2.3 METODOLOGÍAS EMPLEADAS.....	87
2.3.1 <i>Toma de datos a través de la instrumentación de bicicletas</i>	87
2.3.2 <i>Grabación desde cámaras de video externas</i>	88
2.3.3 <i>Toma de datos mediante observaciones visuales para su posterior análisis</i>	89
2.3.4 <i>Análisis estadísticos basados en los datos de partes de accidentes</i>	89
2.3.5 <i>Encuestas sobre comportamiento y percepción</i>	89
2.3.6 <i>Simulaciones</i>	89
2.3.7 <i>Pistas de ensayo y modelización por ordenador</i>	89
2.4 CONCLUSIONES.....	90
2.4.1 <i>Generales</i>	90
2.4.2 <i>Sobre las metodologías e instrumentación</i>	91
2.4.3 <i>Sobre los resultados</i>	91
2.4.4 <i>Sobre los efectos aerodinámicos</i>	92
2.5 CARENCIAS DEL CONOCIMIENTO ACTUAL.....	92
3 OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	95
3.1 OBJETIVOS.....	95
3.2 HIPÓTESIS	96
4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	99
4.1 ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS.....	100
4.1.1 <i>Cámaras fijas</i>	101
4.1.2 <i>Vehículo flotante instrumentado</i>	103
4.1.3 <i>Observación imágenes STREET VIEW</i>	105
4.1.4 <i>Bicicleta flotante instrumentada</i>	108
4.2 SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	109
4.3 INSTRUMENTACIÓN DE LAS BICICLETAS	111
4.3.1 <i>Prueba piloto</i>	112
4.3.2 <i>Resto de tomas de datos</i>	126
4.4 REDUCCIÓN DE DATOS	130
5 ANÁLISIS.....	135

5.1	ASPECTOS GENERALES.....	135
5.2	SEPARACIONES DURANTE EL ADELANTAMIENTO.....	136
5.2.1	<i>Análisis general</i>	136
5.2.2	<i>Ajuste estadístico</i>	140
5.2.3	<i>Separación semineta</i>	141
5.3	VELOCIDADES DURANTE EL ADELANTAMIENTO.....	143
5.3.1	<i>Análisis general</i>	143
5.3.2	<i>Ajuste estadístico</i>	147
5.3.3	<i>Perfiles de velocidades</i>	148
5.4	GRUPOS DE ADELANTAMIENTO.....	157
5.5	INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA.....	159
5.5.1	<i>Geometría en planta</i>	159
5.5.2	<i>Geometría en alzado</i>	163
5.5.3	<i>Visibilidad</i>	164
5.6	INFLUENCIA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.....	165
5.6.1	<i>Separación</i>	165
5.6.2	<i>Velocidad</i>	166
5.6.3	<i>Ocupación del carril contrario</i>	166
5.6.4	<i>Arcén coloreado</i>	167
5.7	ANÁLISIS DE SITUACIONES DE RIESGO.....	168
5.7.1	<i>Separación inferior a 1,50 m</i>	169
5.7.2	<i>Presencia de tráfico opuesto</i>	173
5.7.3	<i>Posibilidad de adelantamiento</i>	174
5.7.4	<i>Ocupación del carril contrario</i>	175
5.8	FUERZAS SOBRE EL CICLISTA.....	184
5.8.1	<i>Fuerzas aerodinámicas</i>	184
5.8.2	<i>Fuerzas transmitidas al ciclista</i>	190
5.8.3	<i>Estabilidad del ciclista</i>	194
5.8.4	<i>Exposición al riesgo</i>	199
5.8.5	<i>Accidentalidad y exposición al riesgo</i>	206
5.9	CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES.....	228
5.9.1	<i>Separación-Velocidad</i>	228
5.9.2	<i>Separación-Semiplataforma</i>	229
5.9.3	<i>Otras correlaciones</i>	230
5.10	ANÁLISIS ADICIONALES.....	232
5.10.1	<i>Percepción del ciclista</i>	232
6	DISCUSIÓN.....	235
6.1	CUESTIONES GENERALES.....	235
6.2	TOMA DE DATOS.....	236
6.3	VARIABLES ANALIZADAS.....	237
6.4	RESULTADOS OBTENIDOS.....	238
6.4.1	<i>Separación</i>	238
6.4.2	<i>Velocidad</i>	241
6.4.3	<i>Geometría de la carretera</i>	242
6.4.4	<i>Sección transversal</i>	242
6.4.5	<i>Visibilidad</i>	245
6.4.6	<i>Presencia de tráfico opuesto</i>	245
6.4.7	<i>Posibilidad de adelantamiento</i>	246
6.4.8	<i>Ocupación del carril contrario</i>	247

6.4.9	Accidentalidad	248
6.5	EFFECTOS AERODINÁMICOS Y EXPOSICIÓN AL RIESGO	249
7	RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO Y EXPLOTACIÓN DE CARRETERAS CONVENCIONALES	251
7.1	VELOCIDAD MÁXIMA.....	251
7.2	VISIBILIDAD MÍNIMA	254
7.3	SECCIÓN TRANSVERSAL.....	259
7.4	TRATAMIENTO DE ARCENES Y BERMAS.....	262
7.5	SEPARACIÓN MÍNIMA.....	263
7.6	NIVEL DE RIESGO.....	263
7.7	ACCIDENTALIDAD Y EXPOSICIÓN AL RIESGO	265
8	CONCLUSIONES	267
8.1	SOBRE LA METODOLOGÍA PARA LA RECOPIACIÓN DE DATOS. LA BICICLETA INSTRUMENTADA	267
8.2	SOBRE EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.....	268
8.3	SOBRE LOS EFECTOS AERODINÁMICOS Y LA EXPOSICIÓN AL RIESGO	272
9	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	275
10	CONCLUSIÓN	279
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	281
	PUBLICACIONES PROPIAS RELACIONADAS	284
	ANEXOS	285
	ANEXO A. PUBLICACIONES RELACIONADAS CON LA TESIS DOCTORAL	285
	ANEXO B. INSTRUMENTACIÓN	285
	ANEXO C. RECORRIDOS TRAMOS DE PRUEBA	285
	ANEXO D. CARRETERAS DE CONTRASTE	285
	ANEXO E. ACCIDENTES.....	285

Índice de Tablas

Tabla 1. Accidentes de ciclistas en 2015.	21
Tabla 2. Evolución de la accidentalidad de ciclistas.	22
Tabla 3. Análisis de separaciones sin y con accesorios, Watts (1977).	37
Tabla 4. Número de estudios por área y características de la vía, Harkey y Stewart (1997).	39
Tabla 5. Localizaciones de estudio, Hunter et al. (2005).	45
Tabla 6. Número de adelantamientos, Walker et al. (2006).	46
Tabla 7. Sumario de vídeos, Parkin et al. (2006).	50
Tabla 8. Muestra de datos obtenidos por el sensor de distancias, Chapman y Noyce (2010). ..	54
Tabla 9. Naturaleza de las observaciones, Chapman y Noyce (2012).	57
Tabla 10. Porcentaje de vehículos que invaden el carril contrario con línea continua para adelantar una bici, Chapman y Noyce (2012).	59
Tabla 11. Porcentaje de vehículos que invaden el carril contrario, Chapman y Noyce (2012). .	60
Tabla 12. Tabla de vehículos y bicicletas en lugar de estudio, Savolainen et al. (2012).	62
Tabla 13. Estadística en tramos sin bandas sonoras en línea central y con ellas, Savolainen et al. (2012).	62
Tabla 14. Separaciones y percentiles, N.Z. Transport Agency (2016).	75
Tabla 15. Rangos de separaciones según tipo de carretera, N.Z. Transport Agency (2016).	75
Tabla 16. Separaciones obtenidas, Bella y Silvestri (2017).	78
Tabla 17. Variables significativas.	100
Tabla 18. Variables metodología cámaras fijas.	103
Tabla 19. Variables vehículo flotante instrumentado.	105
Tabla 20. Variables observación imágenes Street View.	107
Tabla 21. Variables bicicleta instrumentada.	109
Tabla 22. Carreteras en las que se han realizado las nuevas salidas.	127
Tabla 23. Separación neta según tipo de bicicleta.	137
Tabla 24. Separaciones netas según categoría de vehículo.	138
Tabla 25. Separación media por carreteras y tipo de bicicleta.	139
Tabla 26. Ajuste de distribuciones estadísticas para la separación neta.	140
Tabla 27. Velocidades según tipo de bicicleta.	144
Tabla 28. Velocidades medias según tipo de vehículo.	145
Tabla 29. Velocidades medias por carreteras y tipo de bicicleta.	146
Tabla 30. Ajuste de distribución estadística para la velocidad de adelantamiento.	147
Tabla 31. Velocidades medias, percentiles y legales por carreteras.	157
Tabla 32. Separaciones netas medias por tipo de vehículo según geometría en planta.	160
Tabla 33. Velocidad media por tipo de vehículo según geometría en planta.	162
Tabla 34. Separaciones netas y velocidades medias según alzado.	163
Tabla 35. Sección transversal de las carreteras.	165
Tabla 36. Separación neta media según ancho de la semiplataforma y el arcén.	165
Tabla 37. Velocidades medias según ancho de la semiplataforma y del arcén.	166
Tabla 38. Separación neta media y arcén coloreado (en rojo).	167
Tabla 39. Velocidad media y arcén coloreado (en rojo).	168
Tabla 40. Umbrales de separación para la separación neta igual o inferior a 1,50 m.	170
Tabla 41. Umbrales de separación para la separación semineta igual o inferior a 1,50 m.	171

Tabla 42. Porcentaje de vehículos que adelantan con separación neta igual o inferior a 1,50 m en función del ancho de la semiplataforma.....	172
Tabla 43. Separaciones medias netas según tipo de vehículo con y sin ocupación del carril contrario.....	176
Tabla 44. Velocidad media con y sin ocupación del carril contrario.....	178
Tabla 45. Valores ordenados de los percentiles 50 y 85 de la fuerza ordenados por carreteras.	200
Tabla 46. Percepción de riesgo transmitida por el ciclista.....	201
Tabla 47. Niveles de riesgo en función de la F_{85}	201
Tabla 48. F_{85} frente a F_{85} para valores por debajo de S_{85}	202
Tabla 49. Factores de exposición al riesgo por carreteras.....	204
Tabla 50. Demanda de ciclistas por tramos de carretera para el año 2015.	205
Tabla 51. Exposición al riesgo por carreteras.....	206
Tabla 52. Víctimas ciclistas por carreteras.....	207
Tabla 53. Accidentes por tipo y carretera.....	208
Tabla 54. Accidentes por adelantamientos respecto al total por carreteras.....	209
Tabla 55. Estimación de la F_{85} previsible.....	209
Tabla 56. Demanda de tráfico de vehículos y ciclistas en los tramos donde se han realizado las pruebas.....	210
Tabla 57. Exposición al riesgo en los tramos donde se han realizado las pruebas.....	211
Tabla 58. Exposición al riesgo y número de accidentes en los segmentos y carreteras en las que se han realizado las pruebas.	212
Tabla 59. Accidentes en los tramos de contraste.	215
Tabla 60. Características de los tramos de contraste y valor previsible de F_{85}	216
Tabla 61. Demanda de tráfico de vehículos y ciclistas para los tramos de contraste.....	217
Tabla 62. Exposición al riesgo para los tramos de contraste.	218
Tabla 63. Exposición al riesgo y accidentes registrados en los segmentos y carreteras de contraste.	219
Tabla 64. Accidentes previsible en función del rango de exposición al riesgo.....	227
Tabla 65. Rangos de separaciones medias en diversas investigaciones.	239
Tabla 66. Relación entre ancho de semiplataforma y máximo % de vehículos pesados para $F_{85} < 13,2 N$	254
Tabla 67. Estimación de F_{85} previsible según porcentaje efectivo de vehículos pesados.....	262
Tabla 68. Niveles de riesgo en función de la F_{85}	264
Tabla 69. Accidentes previsible para un periodo de 10 años en base al rango de exposición.	265

Índice de Figuras

Figura 1. Recordatorio sobre separación en adelantamiento a ciclistas.	31
Figura 2. Disposición de separadores y chaleco reflectante, Watts (1977).....	36
Figura 3. Cámara sobre portaobjetos trasero, Watts (1977).	36
Figura 4. Dispositivo captador de datos y distanciómetro de ultrasonidos en cesta delantera, Watts (1984).....	38
Figura 5. Distancias medias por tipo de vía entre vehículo y ciclista SEP, borde del carril y bicicleta BDTR y cambio en la posición lateral del vehículo adelantante CLP, Harkey y Stewart (1997).	40
Figura 6. Carriles para bicicletas y carriles anchos de uso compartido, Hunter et al. (1999).....	41
Figura 7. Localizaciones, Hunter (1999).	43
Figura 8. Restitución de imágenes Hunter (1999).....	43
Figura 9. Comparación de medias de las separaciones entre bicicletas y vehículos antes y después de la conversión, Hunter et al. (2005).	46
Figura 10. Separación según distancia al borde y casco Walker et al. (2006).	48
Figura 11. Separación según tipo de vehículo y sexo, Walker et al. (2006).....	48
Figura 12. Tiempos de tramos de recorrido, Parkin et al. (2006).	49
Figura 13. Ejemplo de vía de estudio, Parkin y Meyers (2009).	51
Figura 14. Instrumental instalado en parrilla trasera, Parkin y Meyers (2009).	52
Figura 15. Separaciones obtenidas, Parkin y Meyers (2009).	52
Figura 16. Imágenes del instrumental instalado en la bicicleta, Chapman y Noyce (2010).	53
Figura 17. Imágenes desde la cámara instalada en la bicicleta, Love et al. (2012).....	55
Figura 18. Localización de recorridos, Chapman y Noyce (2012).	56
Figura 19. Adelantamientos con separación inferior a 3 pies, Chapman y Noyce (2012).	58
Figura 20. Separaciones por tipo de vehículo, Chapman y Noyce (2012).....	58
Figura 21. Posición del ciclista y cámaras en la vía, Savolainen et al. (2012).....	61
Figura 22. Instalación de cámaras, Savolainen et al. (2012).	61
Figura 23. Localización del estudio, Dozza y Werneke (2014).	64
Figura 24. Imágenes del instrumental instalado en la bicicleta, Dozza y Werneke (2014).....	65
Figura 25. Tipología de incidentes registrados, Dozza y Werneke (2014).	66
Figura 26. Instrumentación de la bicicleta, Dozza et al. (2015).	67
Figura 27. Fases de la maniobra de adelantamiento, Dozza et al. (2015).	68
Figura 28. Zonas de confort, Dozza et al. (2015).....	69
Figura 29. Localización de las pruebas, Mehta (2015).	71
Figura 30. Sistema de instrumentación, Mehta (2015).....	71
Figura 31. Separación durante el adelantamiento, Mehta (2015).....	72
Figura 32. Localizaciones de los adelantamientos durante las salidas, N.Z. Transport Agency (2016).	74
Figura 33. Instrumentación de la bicicleta, N.Z. Transport Agency (2016).....	74
Figura 34. Secciones transversales modelizadas, Bella y Silvestri (2017).	76
Figura 35. Parámetros de referencia, Bella y Silvestri (2017).	77
Figura 36. Fuerzas generadas sobre el ciclista, USDOT FHWA (1977).	79
Figura 37. Modelo de ensayo y sistema de fuerzas, Kato et al. (1981).....	80
Figura 38. Variación del coeficiente C_y correlación con la separación, Kato et al. (1981).	81

Figura 39. Modelización de las pruebas, Noger et al. (2005).....	82
Figura 40. Esquema de los vehículos a escala, Noger et al. (2005).....	82
Figura 41. Variación de los coeficientes aerodinámicos, Noger et al. (2005).....	83
Figura 42. Correlación entre coeficientes aerodinámicos y separación, Noger et al. (2005).	84
Figura 43. Cámaras sobre plataforma móvil.	101
Figura 44. Imagen tomada desde cámara fija.	102
Figura 45. Vistas de las cámaras de video digitales instaladas en el interior de un vehículo instrumentado.....	104
Figura 46. Imágenes grabadas desde un vehículo instrumentado.	104
Figura 47. Imagen obtenida a partir de Street View.	106
Figura 48. Referenciación de la posición de ciclistas mediante Google Earth.	106
Figura 49. Bicicleta instrumentada.....	108
Figura 50. Bicicleta utilizada para la instrumentación.	112
Figura 51. El cuerpo del ciclista oculta la visión de la bandeja delantera.	114
Figura 52. Bicicleta dotada de portabultos y bandeja delantera.	115
Figura 53. Ordenador portátil y dispositivo VBOX.	116
Figura 54. Cámaras delanteras.....	117
Figura 55. Cámara trasera Go Pro.	117
Figura 56. Distanciómetros (verde) y medidores de velocidad (rojo).....	118
Figura 57. Dispositivo GPS.....	118
Figura 58. Batería, conexiones y cableado accesorio.....	119
Figura 59. Bicicleta completamente instrumentada.....	120
Figura 60. Localización del tramo.....	121
Figura 61. Tramo de prueba.....	122
Figura 62. Kilometraje del tramo.	123
Figura 63. Ciclista durante la prueba.	124
Figura 64. Nueva disposición de la instrumentación en la bicicleta de montaña.....	128
Figura 65. Bicicleta de carretera completamente instrumentada antes de una salida.	129
Figura 66. Imagen tomada desde la cámara trasera.....	130
Figura 67. Imágenes tomadas desde las cámaras delanteras.....	131
Figura 68. Principales variables vinculadas al adelantamiento.....	133
Figura 69. Maniobra por tipo de bicicleta.....	135
Figura 70. Porcentaje de participación en los adelantamientos.....	136
Figura 71. Separación neta durante el adelantamiento.	136
Figura 72. Gráfico de frecuencias de la separación neta.	137
Figura 73. Gráfico de cuantiles de la separación neta.	137
Figura 74. Separación neta en función del tipo de bicicleta.	138
Figura 75. Separación neta según categorías de vehículos.....	138
Figura 76. Separación neta media según carreteras.....	140
Figura 77. Histograma y ajuste de distribuciones para la separación neta.	141
Figura 78. Separación semineta media.	141
Figura 79. Separación neta frente a semineta.	142
Figura 80. Separación semineta según tipo de bicicleta.	142
Figura 81. Separación semineta media según tipo de vehículo.....	143
Figura 82. Velocidad media de los vehículos adelantantes.	143

Figura 83. Histograma de velocidades durante el adelantamiento.....	144
Figura 84. Percentiles de las velocidades de adelantamiento.	144
Figura 85. Velocidades medias de adelantamiento según tipo de bicicleta.....	145
Figura 86. Velocidades medias según tipo de vehículo.	145
Figura 87. Velocidades medias por carreteras.....	146
Figura 88. Histograma y distribuciones ajustadas para la velocidad de adelantamiento.....	147
Figura 89. Velocidades adelantamiento frente a V_{85} . Bétera.....	149
Figura 90. Velocidades adelantamiento frente a V_{85} . Casinos.....	150
Figura 91. Velocidades adelantamiento frente a V_{85} . Cheste.	151
Figura 92. Velocidades adelantamiento frente a V_{85} . N-225.	152
Figura 93. Velocidades adelantamiento frente a V_{85} . Náquera.	153
Figura 94. Velocidades adelantamiento frente a V_{85} . Pedralba.....	154
Figura 95. Velocidades adelantamiento frente a V_{85} . Portaceli.....	155
Figura 96. Velocidades adelantamiento frente a V_{85} . Torrent.....	156
Figura 97. Significación de la presencia del ciclista en las velocidades medias.....	157
Figura 98. Grupos de adelantamiento.	158
Figura 99. Influencia de la presencia de colas en la separación neta media durante el adelantamiento.....	158
Figura 100. Influencia de la presencia de colas en la velocidad media durante el adelantamiento.....	158
Figura 101. Adelantamientos en función de la geometría en planta.....	159
Figura 102. Separación neta en función del trazado en planta.	159
Figura 103. Separación neta en función del trazado en planta.	160
Figura 104. Separaciones netas medias por tipo de vehículo y geometría en planta.	161
Figura 105. Separaciones seminetas media por tipo de vehículo y trazado en planta.....	161
Figura 106. Velocidades medias de adelantamiento según tipo de trazado.....	162
Figura 107. Significación velocidades medias de adelantamiento según tipo de trazado en planta.	162
Figura 108. Velocidades medias por tipo de vehículo y trazado en planta.	163
Figura 109. Separación neta y velocidad media en función de la visibilidad.....	164
Figura 110. Separación neta media según ancho de la semiplataforma y del arcén.....	165
Figura 111. Velocidad media según ancho de la semiplataforma y del arcén.....	166
Figura 112. Ocupación del carril contrario según ancho de la semiplataforma.	166
Figura 113. Tiempo de ocupación del carril contrario según el ancho de la semiplataforma..	167
Figura 114. Significación de las separaciones medias neta y semineta y de la velocidad media por tipo de bicicleta respecto a la totalidad de la muestra.	169
Figura 115. Adelantamientos con separación neta igual o inferior a 1,50 m.....	169
Figura 116. Adelantamientos con separación neta inferior o igual a 1,50 m por categorías. ..	170
Figura 117. Adelantamientos con separación semineta inferior o igual a 1,50 m por categorías.	171
Figura 118. Velocidad media durante los adelantamientos con separación igual o inferior a 1,50 m.....	171
Figura 119. Velocidad media durante los adelantamientos con separación igual o inferior a 1,50 m por tipo de vehículo.	172
Figura 120. Separación neta y velocidad media con presencia de vehículo opuesto.....	173

Figura 121. Significación del tráfico opuesto en la separación neta y velocidad media.....	173
Figura 122. Separación neta y velocidad media según posibilidad de adelantamiento.....	174
Figura 123. Significación de la posibilidad de adelantamiento en las separaciones netas y velocidades medias durante el adelantamiento.....	174
Figura 124. Ocupación del carril contrario.....	175
Figura 125. Separación neta media sin y con ocupación del carril contrario.	175
Figura 126. Significación de la ocupación del carril contrario en la separación neta media. ...	176
Figura 127. Significación de la ocupación del carril contrario en la separación neta media por tipo de vehículo.....	176
Figura 128. Proporción de vehículos que ocupan el carril contrario con separación igual o menor a 1,50 m.	177
Figura 129. Ocupación del carril contrario con y sin prohibición de adelantamiento.....	177
Figura 130. Separación media con ocupación del carril contrario y prohibición de adelantamiento.....	178
Figura 131. Ocupación del carril contrario según trazado en planta.....	178
Figura 132. Ocupación del carril contrario en función de la visibilidad.	179
Figura 133. Ocupación del carril contrario en función del tiempo de cruce.....	180
Figura 134. Histograma de tiempos (s) de ocupación del carril contrario.....	180
Figura 135. Concentración de los valores del tiempo de ocupación del carril contrario.	181
Figura 136. Tiempo (s) de ocupación del carril contrario según tipo de vehículo.....	181
Figura 137. Velocidad frente a longitud de ocupación del carril contrario.	182
Figura 138. Histograma de longitudes de ocupación del carril contrario.....	182
Figura 139. Concentración de los valores de longitud de ocupación del carril contrario.....	182
Figura 140. Longitud (m) de ocupación del carril contrario según tipo de vehículo.	183
Figura 141. Interacción entre los flujos aerodinámicos durante el adelantamiento (Uystepruyst,y Krajnovic, 2013).	184
Figura 142. Coeficientes C_y propuestos por Kato.	185
Figura 143. Coeficientes C_y propuestos por Noger.....	186
Figura 144. Relación entre la separación camión-ciclista durante el adelantamiento y la fuerza lateral sobre el ciclista. USDOT FWHA.	187
Figura 145. Correlación entre C_y y $\log(s/l)$	188
Figura 146. Correlación entre C_y y s/l	189
Figura 147. Fuerzas aerodinámicas por tipo de vehículo.....	191
Figura 148. Adelantamientos por tipo de vehículo que superan los 16,5 N.....	191
Figura 149. Distribución de fuerzas en función de la separación durante el adelantamiento.	192
Figura 150. Distribución de fuerzas en función de la velocidad durante el adelantamiento. ..	193
Figura 151. Relación entre separación y velocidad para adelantamientos con $F > 16,5$ N por categoría de tráfico.	193
Figura 152. Referencias geométricas de la bicicleta.	195
Figura 153. Centro de gravedad del ciclista.	195
Figura 154. Inclinación lateral equivalente contrarrestando fuerza lateral, ciclista sentado... ..	196
Figura 155. Ciclista en pedaleo de pie.....	196
Figura 156. Distribución de fuerzas superiores a 16,5 N en función de la separación semineta durante el adelantamiento.	198

Figura 157. Distribución de fuerzas superiores a 16,5 N en función de la velocidad durante el adelantamiento.	198
Figura 158. Relación entre separación y velocidad para adelantamientos con $F > 24$ N por categoría de tráfico.	199
Figura 159. Fuerzas soportadas por el ciclista por carreteras.	200
Figura 160. Bondad del ajuste de la correlación entre F_{85} , %P y anchura de la semiplataforma.	202
Figura 161. Niveles de riesgo.	203
Figura 162. Bondad del ajuste de la correlación de FT con la F_{85} y la IMD.	204
Figura 163. Accidentes registrados en las carreteras estudiadas entre 2007 y 2016.	206
Figura 164. Tipo de accidentes registrados.	208
Figura 165. Correlación lineal entre exposición al riesgo y accidentes en los segmentos de las carreteras donde se han realizado las pruebas.	213
Figura 166. Correlación lineal entre exposición al riesgo y accidentes en las carreteras donde se han realizado las pruebas.	214
Figura 167. Tipos de accidentes de ciclistas en los tramos de contraste.	215
Figura 168. Correlación lineal entre exposición al riesgo y accidentes en los segmentos de las carreteras de contraste.	220
Figura 169. Correlación lineal entre exposición al riesgo y accidentes en las carreteras de contraste.	221
Figura 170. Correlación lineal entre exposición y accidentes para el conjunto de segmentos.	222
Figura 171. Correlación lineal entre exposición y accidentes para el conjunto de segmentos (Exposición < 600).	223
Figura 172. Ajuste estadístico alternativo para el conjunto de segmentos, correlación tipo cuadrado doble (Exposición < 600).	223
Figura 173. Correlación lineal entre exposición y accidentes para el conjunto de carreteras.	224
Figura 174. Correlación lineal entre exposición y accidentes para el conjunto de carreteras (Exposición < 600).	225
Figura 175. Ajuste estadístico alternativo conjunto carreteras, tipo raíz cuadrada de X.	225
Figura 176. Correlaciones tipo cuadrado doble y lineal. Accidentes frente a exposición (Exposición < 600).	226
Figura 177. Correlación entre la velocidad de adelantamiento y la separación neta.	228
Figura 178. Correlación entre velocidad media de adelantamiento y separación neta media.	228
Figura 179. Correlación entre ancho de la semiplataforma y separación neta durante el adelantamiento.	229
Figura 180. Correlación entre ancho de la semiplataforma y la separación neta media durante el adelantamiento.	229
Figura 181. Correlación entre el ancho de la semiplataforma y la separación semineta media.	230
Figura 182. Fuerza (N) sobre el ciclista en función de la separación (m) durante el adelantamiento según tipo de vehículo.	252
Figura 183. Distribución de fuerzas en función de la velocidad durante el adelantamiento. ..	253
Figura 184. Tiempo (s) y longitud (m) de ocupación del carril contrario.	255
Figura 185. Histogramas de tiempos (s) y longitudes (m) de ocupación del carril contrario. ..	256

Figura 186. Mínimo tiempo de cruce con un vehículo opuesto antes o después del adelantamiento.....	257
Figura 187. Ocupación del carril contrario en función de la visibilidad.....	258
Figura 188. Distancias de parada en función de la velocidad.....	259
Figura 189. Niveles de riesgo.....	264

1 Introducción

En la presente Tesis Doctoral se desarrolla una investigación en la que se analiza el fenómeno del adelantamiento de vehículos a bicicletas en carreteras convencionales tomando datos sobre separaciones, trayectorias, velocidades, etc., mediante la utilización de bicicletas instrumentadas, a través de observaciones naturalistas. Esto ha permitido analizar la peligrosidad de la maniobra para el ciclista y el establecimiento de criterios de seguridad de una carretera para ese tipo de usuarios más vulnerables.

Esta investigación es continuación del Trabajo de Investigación “Adelantamiento a bicicletas. Sistemas de instrumentación”, elaborado por el Autor de la Tesis dentro del Programa de Doctorado en Ingeniería Civil y Urbanismo de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la de la Universitat Politècnica de València. El Trabajo fue presentado en septiembre de 2012.

El objeto de esta investigación previa fue el análisis comparativo de diversas metodologías para el análisis de los adelantamientos realizados por vehículos a bicicletas en carreteras convencionales, así como el planteamiento, diseño, implementación y puesta a punto de una metodología para la instrumentación de una bicicleta con el fin de recopilar datos precisos sobre las maniobras de adelantamiento reales con el fin de poder ser tratados posteriormente.

Se estudiaron y compararon los diferentes sistemas disponibles en la actualidad para la toma de datos y análisis de la forma en la que se comportan los conductores de vehículos a la hora de adelantar a ciclistas, así como de las variables de contorno que afectan a estas maniobras. En base a ello, se implementó un sistema de monitorización en una bicicleta con el que poder recopilar in situ toda la información posible sobre los adelantamientos.

Finalmente se plantearon futuras líneas de investigación acerca de los sistemas de instrumentación de bicicletas para el análisis de las maniobras de adelantamiento, así como de los distintos factores y parámetros que pueden condicionar dichas maniobras y la seguridad del ciclista.

En dicho Trabajo de Investigación se desarrollaron, por tanto, las bases metodológicas que posteriormente han permitido realizar la presente investigación.

1.1 Marco general

La siniestralidad vial es uno de los problemas más importantes de nuestra sociedad, causando miles de víctimas cada año. Según el Informe Mundial sobre Seguridad Vial 2015 elaborado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2015), aproximadamente 1,25 millones de personas fallecen por accidentes de tráfico y entre 20 y 50 millones resultan heridas en todo el mundo anualmente. De todas las víctimas mortales, el 49% son usuarios vulnerables, distribuidos entre peatones (22%), ciclistas (4%) y motoristas (23%). En el marco específico de la Unión Europea, un 8% del total de muertes en carretera corresponde a ciclistas y la tendencia va en ligero aumento (Comisión Europea, Movilidad y Transporte, Seguridad Vial Ciclistas, 2016).

Dentro de las políticas sobre seguridad vial, la protección de los colectivos más vulnerables se encuentra entre las prioridades de la nueva “Estrategia Española de Seguridad Vial 2011-2020” (Dirección General de Tráfico, 2011) para este decenio, alineándose así con los objetivos establecidos por la Comisión Europea en el documento “Hacia un espacio europeo de seguridad vial: orientaciones políticas sobre seguridad vial 2011-2020” (Comisión Europea, 2011).

Este concepto de colectivos vulnerables hace referencia a todos aquellos ciudadanos que, por razón del medio de desplazamiento que utilizan –así como, en algunos casos, por las características físicas del grupo de edad al que pertenecen–, tienen un mayor riesgo de sufrir lesiones en caso de accidente de tráfico. El concepto incluye, en este sentido, a los peatones – en general, y a los niños, personas mayores y personas con movilidad reducida, en particular– y a los ciclistas.

En la actualidad el análisis de la siniestralidad en el caso concreto de los ciclistas se basa, fundamentalmente, en la interpretación de los datos disponibles en los partes de accidentes una vez ocurridos y en las declaraciones de los afectados, si se dispone de ellas.

Por otro lado, también son varias las publicaciones y guías en las que se plantean recomendaciones para el diseño de vías ciclistas seguras y funcionales basadas, generalmente, en la separación de tráfico, en la integración de espacios y en el tratamiento de puntos de conflicto.

Sin embargo, no se ha desarrollado ni se ha profundizado en una metodología que permita analizar en sí el fenómeno del adelantamiento in situ tomando datos sobre separaciones, trayectorias, velocidades, etc. que permitan analizar la peligrosidad de la maniobra para el ciclista y que puedan servir de base para fijar criterios de peligrosidad de una vía para ese tipo de usuarios más vulnerables.

A nivel de siniestralidad, es evidente que la maniobra de adelantamiento a ciclistas es una de las maniobras más peligrosas que existen en carreteras convencionales de calzada única, tanto para los vehículos que circulan por la carretera como para los propios ciclistas.

Ello se debe a que, para adelantar a las bicicletas, el vehículo adelantante debe invadir en muchos casos el carril destinado al tráfico opuesto durante un cierto periodo de tiempo. El movimiento inesperado del ciclista antes de la maniobra de adelantamiento también puede ser una causa de siniestralidad. En última instancia, la maniobra depende totalmente de los conductores, en un proceso de decisión complejo a llevar a cabo en muy breve espacio de tiempo y en el que interviene un gran número de variables. Finalmente, el ciclista es un usuario muy vulnerable y con una situación de clara inferioridad en su interacción con el resto de usuarios.

La percepción de las velocidades de aproximación de vehículos en sentido contrario, la visibilidad disponible, la estimación del tiempo necesario para rebasar a otro vehículo o la habilidad de los conductores para ejecutar una maniobra de aceleración son factores difícilmente controlables, que hacen del adelantamiento una maniobra peligrosa, en la que el factor humano juega un papel fundamental.

Además, dadas las características de la maniobra de adelantamiento, si llega a producirse un accidente, es probable que este sea de mucha gravedad, debido a la poca protección por parte de los ciclistas, como así indican la mayoría de estudios al respecto. La velocidad del vehículo adelantante y el tráfico también puede producir accidentes entre ellos, sin necesariamente verse afectados los ciclistas.

En la presente tesis se pretende establecer una serie de indicadores y criterios de seguridad de una vía atendiendo a la peligrosidad de los adelantamientos de vehículos a ciclistas utilizando para ello las mediciones in situ de los diferentes parámetros implicados en la maniobra mediante la utilización de bicicletas instrumentadas.

1.2 Ámbito de aplicación y metodología de la investigación

1.2.1 Ámbito de aplicación

Los trabajos desarrollados en la tesis pueden dividirse en dos grandes fases. En una primera fase se procedió a la instrumentación de dos bicicletas, una de carretera y otra de montaña, y la toma de datos in situ de las maniobras de adelantamiento de vehículos sobre dichas bicicletas en carreteras convencionales, midiendo así los diferentes parámetros que caracterizan la maniobra de adelantamiento. En una segunda fase se ha procedido a analizar la incidencia de los diversos parámetros tanto de las características de las carreteras, las condiciones del tráfico, características de los vehículos, características de los ciclistas, etc., estableciendo los niveles de riesgo asociados.

1.2.2 Problemática del colectivo ciclista

Dentro del concepto de colectivos vulnerables citado, y centrándonos en el caso concreto de los ciclistas, según las estadísticas de accidentes elaboradas por la DGT, en 2015 los usuarios de las bicicletas se vieron implicados en 7.649 accidentes con víctimas (Tabla 1) frente a los 6.890 de 2014, un 11% más. Fallecieron 58 ciclistas, 75 en 2014, 652 resultaron heridos hospitalizados, 670 en 2014, y 6.273 fueron heridos no hospitalizados, 5.887 en 2014. Los accidentes se produjeron mayoritariamente en vías urbanas, 5.371 frente a 2.278 (70%). Sin embargo, el número mayor de ciclistas fallecidos se produjo en vías interurbanas, 48 de los 58 ciclistas fallecidos.

Tipo de vía	Accidentes con víctimas		Fallecidos*	Heridos hospitalizados		Heridos no hospitalizados	
	Número	%		Número	Número	%	Número
Interurbanas	2.278	30%	48	322	49%	1.803	29%
Urbanas	5.371	70%	10	330	51%	4.470	71%
Total	7.649	100%	58	652	100%	6.273	100%

Tabla 1. Accidentes de ciclistas en 2015.

En 2015 la cifra de ciclistas fallecidos disminuyó respecto a 2014 un 23%. Respecto de 2005, la reducción global ha sido del 29%. Sin embargo, el crecimiento de ciclistas heridos ha aumentado de forma considerable y constante desde el año 2005 (Tabla 2).

Fallecidos

Tipo de Vía	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	15/14	15/05
Interurbanas	59	55	67	43	43	49	37	53	45	54	48	-11%	-19%
Urbanas	23	20	22	11	13	18	12	19	24	21	10	-52%	-57%
Total	82	75	89	54	56	67	49	72	69	75	58	-23%	-29%

Heridos hospitalizados

Tipo de Vía	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	15/14	15/05
Interurbanas	234	294	267	235	268	258	304	304	297	312	322	+3%	+38%
Urbanas	214	189	197	205	221	209	285	268	349	358	330	-8%	+54%
Total	448	483	464	440	489	467	589	572	646	670	652	-3%	+46%

Heridos no hospitalizados

Tipo de Vía	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	15/14	15/05
Interurbanas	509	632	728	686	826	881	1.119	1.192	1.328	1.722	1.803	+5%	+254%
Urbanas	1.244	1.251	1.376	1.676	1.947	2.081	2.593	3.170	3.451	4.165	4.470	+7%	+259%
Total	1.753	1.883	2.104	2.362	2.773	2.962	3.712	4.362	4.779	5.887	6.273	+7%	+258%

Tabla 2. Evolución de la accidentalidad de ciclistas.

Como puede apreciarse, aunque el número de fallecidos parece disminuir o a estabilizarse, el número de accidentes con víctimas no hace más que crecer año a año.

No obstante, desde el punto de vista de la seguridad vial, este análisis de la siniestralidad y su comparación con los de años anteriores no deja de ser más que un dato estadístico de evolución y que, aunque puede reflejar la efectividad de determinadas políticas o actuaciones sobre seguridad vial, no suministra información sobre posibles causas, circunstancias de contorno o comportamientos de riesgo que permitan avanzar en la evaluación de las circunstancias de riesgo y en la adopción de medidas preventivas.

En este sentido, el análisis de los datos recogidos en los partes de accidentes no permite un análisis completo de manera directa. Los datos recogidos sobre localización, estado de la vía, visibilidad... requieren una posterior comprobación in situ para concretar las circunstancias de contorno de la vía que puedan haber influido. Por su parte, las descripciones sobre el tipo de accidente y vehículos implicados suelen ser poco esclarecedoras sobre las circunstancias implicadas en los incidentes.

Por otra parte, este análisis no deja de constituir una visión parcial del problema dado que sólo nos permite centrarnos en aquellos casos concretos en los que finalmente se ha producido un accidente. Sin embargo, no permite establecer un planteamiento general en el que se analicen los comportamientos de los conductores en las maniobras de adelantamiento sobre ciclistas y todas las variables involucradas de forma que puedan anticiparse circunstancias de riesgo a nivel preventivo.

Igualmente, no se dispone de información sobre la exposición al riesgo de los ciclistas en carretera al no existir metodologías para estimar la demanda ciclista en ellas. La información habitualmente recogida en las campañas de aforos no suele ir más allá de la distinción entre vehículos ligeros y pesados y sólo en algunos casos se incluyen las mercancías peligrosas, los vehículos extranjeros o los motociclistas

No puede dejarse de lado tampoco la percepción que los propios ciclistas, como principal afectado, tienen sobre las circunstancias y riesgos ante los que se encuentran cuando circulan por una carretera.

Según el estudio “Situación actual del colectivo ciclista en España” realizado por el RACE en 2009:

- El 73 % de los ciclistas utiliza, por norma general, las carreteras como infraestructura para hacer uso de la bicicleta frente a otro tipo de opciones como puedan ser los carriles bici, vías verdes u otros. De entre ellas, las vías que más frecuentan el colectivo ciclista son carreteras con arcén menor de 1,5 m y carreteras sin arcén (58 % concretamente).
- Las vías más frecuentadas por los ciclistas son vías con 1 carril por sentido de la marcha con un porcentaje de uso del 36%, seguido por las carreteras de 2 carriles por sentido frecuentada por el 22%, frente al 23% de los usuarios que hacen uso de vías de un solo sentido.
- En relación a la percepción de los ciclistas frente al tráfico, el 67% reconoció que circulaba por vías de tráfico moderado o medio (entre 26 y 100 veh/h), frente al 15% que reconoció circular por vías con una intensidad de vehículos elevada, más de 100 vehículos a la hora.

Por otra parte, el documento “Barómetro de la bicicleta”, redactado por la DGT en 2011 pone de manifiesto lo siguiente:

- Un 35,5% de los entrevistados dice circular siempre o casi siempre por la calzada compartiendo el espacio con los vehículos a motor, frente a 31,9% que lo hace a veces y un 32,4% que no lo hace nunca o casi nunca. Un 0,2% no se posiciona.
- Las mujeres, los mayores y los residentes en ciudades de 100 a 500 mil habitantes son los que menos circulan por la calzada.

- Los que no circulan por la calzada alegan que suelen ir por carriles bici o por la montaña y zonas rurales. La mayoría dice que no va por la calzada porque lo considera peligroso y tiene miedo a ser atropellado.
- Un 28,1% de los ciclistas que circulan por carretera considera que cuando le adelanta un vehículo a motor éste nunca o casi nunca modera la velocidad cuando se acerca al ciclista y otro 39,3% dice que los conductores sólo moderan la velocidad a veces. Un 31,5% considera que en general sí reducen siempre la velocidad.
- En relación a la distancia lateral de seguridad obligatoria en los adelantamientos a ciclistas, el 28,7% dice que en general no se respeta nunca o casi nunca, mientras un 41,6% considera que se respeta a veces y un 29,1% que se respeta siempre o casi siempre.
- Un 20,9% de los ciclistas ha sufrido algún accidente circulando en bicicleta, por un 79,1% que no ha tenido nunca ninguno. De ellos, los hombres y los más jóvenes son los que más sufren accidentes en bicicleta (en consonancia con el hecho que también son los que más la usan).
- La gran mayoría de los accidentes se producen por caídas (77,5%), pero un 14,2% es debido al atropello del ciclista y un 3,0% a que el ciclista atropella a un peatón (lo que representa el 3,0% y el 0,7%, respectivamente, en relación al total de usuarios).
- En referencia al lugar donde se ha producido el accidente, un 42,4% ha sido en ciudades o zonas urbanizadas, el 11,3% por carretera y el 46,3% por caminos de montaña. Un 39,5% de estos accidentes se produjo en el último año, el 28,3% hace entre 1 y 3 años y el 30,2% hace más de 3 años. El 2,0% no lo recuerda.
- En relación al tipo de lesión sufrida: un 98,0% de los accidentes fue leve, es decir sin hospitalización o con una hospitalización inferior a las 24 horas, y el 1,0% grave, es decir con una hospitalización superior a las 24 horas.
- Un 27,2% de los entrevistados cree que el principal inconveniente de la bicicleta es el riesgo a ser atropellado (17,3%) y el exceso de circulación y tráfico (9,9%).
- Un 19,7% de las respuestas menciona la falta de facilidades para los ciclistas, especialmente la necesidad de más vías para bicicletas (12,1%), pero también de aparcamientos y sitios para guardarla (4,4%). Un 3,2% hace referencia a la falta de respeto y consideración hacia los ciclistas por parte de los vehículos a motor que no ven la bicicleta como un medio de transporte más en igualdad de condiciones.
- En referencia a la circulación de bicicletas por carreteras interurbanas, el 83,8% de los entrevistados cree que se necesitan espacios adecuados de conexión interurbana para circular en bicicleta, y el 62,0% estaría de acuerdo en habilitar carreteras comarcales o locales donde los ciclistas tuvieran prioridad respecto al resto de vehículos.

- Un 50,9% de los entrevistados cree que, en general, los conductores de vehículos a motor no son respetuosos con los ciclistas, mientras un 45,0% cree que sí lo son.
- Los que opinan que los conductores no son respetuosos con las bicicletas argumentan que van demasiado deprisa y no respetan la distancia de seguridad en los adelantamientos. Se dice que el coche no tiene en consideración al ciclista porque se cree con más derecho a circular por la calzada, utilizan una situación de dominio y, en general, consideran que la bicicleta es un estorbo para ellos.

Finalmente, se considera interesante citar algunas de las conclusiones recogidas en el Estudio sobre accidentalidad ciclista en España realizado por la Comisión por la Seguridad Vial del Ciclista de la Federación de Ciclismo de la Comunidad Valenciana y la UPV y que, aunque se refiere al período 1996-2001, aporta algunas consideraciones muy interesantes adicionales a las meramente estadísticas sobre accidentes:

- La accidentalidad ciclista es mayor en los meses de verano. La diferencia entre unos meses y otros es 3 a 1.
- Las horas del día donde se producen mayor número de accidentes es el mediodía y entre las 18-19h, con diferencias entre horas de 30 a 1.
- Los desplazamientos ciclistas ocurren en más del 60 % de los casos en un horario diurno con perfecta iluminación, cuando se esgrime a menudo la falta de visibilidad como uno de los argumentos para explicar la accidentalidad ciclista.
- Los desplazamientos ciclistas recreativos o deportivos se producen masivamente los fines de semana. La accidentalidad no es significativamente mayor en los fines de semana, sino que es prácticamente constante a lo largo de ella. El hecho de rodar en grupo es el factor que explica que la accidentalidad no aumente los fines de semana.
- Tres de cada cuatro accidentes con ciclistas en carretera, el ciclista rodaba en solitario.
- El 77,8 % de los accidentes tuvieron lugar en vías con arcén menor de metro y medio, inexistente o impracticable. En el 30,6 % de los accidentes en carretera existía arcén, pero este era no era practicable.
- La proporción de muertos y heridos graves ha sido ligeramente menor entre los ciclistas con casco.
- Los jóvenes de 16 años son el grupo de mayor siniestralidad. Entendemos que la inexperiencia en la conducción sumada al hecho de los primeros contactos con la circulación en tráfico abierto, puede ser la causa de esta mayor siniestralidad.
- Los factores más relevantes que causan los accidentes son las distracciones y las infracciones al código de circulación.

- La proporción de ciclistas que no estaba realizando ninguna maniobra especial y que únicamente seguía la ruta es muy elevada, entre el 60 % y el 67 %. Entre un 7 % y un 12 % de los ciclistas accidentados sufrieron su accidente en un cruce.

Como puede apreciarse, los ciclistas suelen circular por carreteras convencionales, con arcenes iguales o inferiores a 1,50 m y tráfico no muy elevado. Aunque el número de accidentes de ciclistas en carretera es menor que en viarios urbanos, es en las carreteras donde se produce el mayor número de fallecidos (83%). Parece generalizada entre el colectivo ciclista la percepción de que los conductores no son respetuosos con los ciclistas, circulando excesivamente rápidos en los adelantamientos y sin respetar la distancia mínima de seguridad.

1.2.3 Regulación legal

A nivel internacional, la normativa propia de cada país regula la circulación de los ciclistas y la forma en la que otros vehículos deben adelantarles.

A nivel de la Unión Europea no existe una normativa única aplicable en todos los países. No obstante, desde la UE se está trabajando en varios aspectos para lograr que la circulación en bicicleta sea más segura, planteándose, de manera general, algunas líneas de trabajo:

- A nivel de los ciclistas, las bicicletas deberían llevar obligatoriamente algunos dispositivos de seguridad básicos, como frenos, timbre y reflectores, en todos los países de la UE. Algunos países exigen requisitos adicionales de visibilidad, cascos, asientos para niños y una edad mínima para circular en bicicleta por carretera.
- El perfeccionamiento del diseño de coches y vehículos pesados reduciría los riesgos de lesiones a ciclistas, especialmente la incorporación de frontales con sistema de absorción de choques en los coches y los retrovisores que reducen los ángulos muertos en los camiones. También, algunos coches nuevos empiezan a incorporar sistemas de detección de bicicletas que pueden frenar automáticamente para evitar accidentes.
- Respecto a la infraestructura y gestión del tráfico, la separación de las bicicletas del resto del tráfico mediante carriles bici ininterrumpidos contribuye a la reducción de las colisiones entre coches y bicicletas. También ayudan las zonas de velocidad limitada (30 km/h).

De manera más específica, la UE plantea aspectos de regulación concreta. En esta línea, las normas y reglamentos relacionados con el tráfico que se aplican a los ciclistas en la UE se pueden dividir en los reglamentos sobre vehículos, regulaciones sobre el uso de cascos para ciclistas y las normas de tráfico.

Regulación de los vehículos:

De acuerdo con la Convención de Viena, un ciclo es un vehículo con al menos dos ruedas que es propulsado exclusivamente por la energía muscular de la persona que monta en ese vehículo, en particular mediante pedales o manivelas. Por otra parte, la Convención establece que un ciclo deberá: a) disponer de un freno eficaz, b) estar equipado con un timbre que pueda ser oído a una distancia suficiente, y no llevar ningún otro dispositivo de aviso acústico, y c) estar equipado

con un dispositivo reflectante rojo en la parte trasera, y con dispositivos que aseguran que la bicicleta puede mostrar una luz blanca o amarilla en la parte delantera y una luz roja en la parte posterior.

Además, algunos países como Alemania y los Países Bajos tienen normas complementarias en relación con el equipamiento obligatorio para asegurar la visibilidad de los ciclistas. Algunos ejemplos son:

- Un reflectante blanco delantero visible desde la parte frontal.
- Reflectantes naranjas en los pedales visibles desde la parte delantera y trasera.
- Dos reflectantes naranjas montados en cada rueda, dispuestos en un ángulo de 180º y visibles desde los lados, o tiras circulares blancas continuas retro-reflectantes en los neumáticos o en los radios de las ruedas delanteras y traseras.
- Un reflectante rojo de gran superficie adicional en la parte posterior.
- Guardabarros para evitar que el barro reduzca la visibilidad de las luces y reflectores.

En algunos países (los Países Bajos, por ejemplo), se han elaborado normas para accesorios tales como asientos de bicicleta para niños. Estas normas incluyen requisitos y recomendaciones relativas a la fijación del asiento, las dimensiones, las estriberas y las protecciones de los pies para evitar que entren en contacto con los radios de la bicicleta.

Legislación sobre el uso de casco:

En algunos países europeos, el uso de cascos para ciclistas se ha convertido en obligatorio durante los últimos años. En Malta se hizo obligatorio para todos los ciclistas en abril de 2004. En Suecia se convirtieron en obligatorios para los niños de hasta 15 años de edad desde enero de 2005. El mismo grupo de ciclistas tiene que llevar casco en Eslovenia y la República Checa. En España, el uso del casco es obligatorio en vías interurbanas para todos los usuarios de bicicleta salvo en rampas ascendentes prolongadas, por razones médicas o en condiciones extremas de calor. En las vías urbanas su uso es obligatorio para los menores de 16 años tanto si son conductores como ocupantes de bicicleta. Para los mayores de 16, no es obligatorio, aunque se recomienda su uso.

Normas de tráfico para los ciclistas

Además de las reglas que se aplican normalmente a todos los usuarios de las carreteras, y de conformidad con la Convención de Viena, los ciclistas están sujetos a normas específicas definidas en su legislación nacional con el fin de garantizar que puedan viajar con seguridad y fácilmente:

- Los ciclistas no deben viajar sin sujetar al menos una parte del manillar, no debe permitirse que sean remolcados por otro vehículo y no deben llevar remolques u objetos que obstaculicen a la bicicleta y pongan en peligro a otros usuarios de la carretera.

- Deben mantenerse a la derecha de la calzada (a la izquierda en el Reino Unido e Irlanda) y dar una señal con el brazo apropiada cuando desean girar.
- En principio, los ciclistas deben circular en línea. Sin embargo, algunos países, como es el caso de España, introducen excepciones a esta regla permitiendo a los ciclistas circular en paralelo donde la calzada es lo suficientemente ancha, donde el tráfico de ciclistas es importante, en vías ciclistas, etc.
- Están obligados a utilizar los carriles bici y pistas. No pueden, sin embargo, utilizar autopistas y similares.
- Cuando los ciclistas caminan empujando sus bicicletas a pie se clasifican como los peatones y por lo tanto pueden usar las aceras.

La Convención de Viena prohíbe el transporte de pasajeros en bicicletas, pero permite autorizar excepciones. En algunos países se permite el transporte de un pasajero si la edad de éste está por debajo de una edad fijada legalmente (por ejemplo 14 años en Francia) y si el ciclista principal tiene una edad mínima.

Alemania ha añadido recientemente nuevos elementos a su código de tráfico para ciclistas. Desde entonces, los ciclistas pueden viajar contra sentido en calles seleccionadas de un solo sentido, y en las denominadas ciclo-calles los ciclistas pueden hacer uso de toda la calle mientras que los coches tienen que permanecer detrás de los ciclistas. En algunos países escandinavos y en Alemania las pistas ciclistas sólo son obligatorias si cumplen con la norma de calidad mínima adecuada.

Algunas legislaciones nacionales establecen que los ciclistas sólo pueden circular por carretera a partir de cierta edad. En Suiza, el ciclista debe tener, al menos, la edad para ir a la escuela antes de poder circular por una carretera. En Dinamarca, a los niños menores de 6 años no se les permite ir en bicicleta a menos que estén acompañadas por una persona que tenga 15 años o más. En Alemania, los niños deben tener, al menos, 8 años de edad, con las mismas disposiciones que en Dinamarca. En Polonia, los niños mayores de 10 años deben pasar un test para que se les permita circular por carretera.

Respecto al comportamiento del vehículo adelantante la normativa también es bastante variable según países. Es general, el planteamiento legal se limita a recoger que el adelantamiento debe realizarse manteniendo una distancia adecuada que garantice la seguridad del ciclista, pero son pocos los países que fijan una separación mínima concreta durante la maniobra.

En la zona europea, países como Bélgica y Holanda establecen 1 m de separación mínima. En España y Portugal la separación mínima es de 1,50 m. En Francia se establece 1 m en zona urbana y 1,50 m en interurbana. Sin embargo, en otros países como Italia, Dinamarca, Grecia, Alemania, Reino Unido o Irlanda, no se establece una distancia mínima. No obstante, en los últimos tiempos, en Alemania se está empezando a recomendar a nivel judicial separaciones entre 1,50 m y 2 m y en Irlanda y Reino Unido también están surgiendo movimientos solicitando el establecimiento de una separación mínima, 1,50 m en el primero de ellos y 1 m en viarios con limitación de velocidad hasta 30 km/h y de 1,50 m para velocidades mayores en el segundo.

Fuera del ámbito europeo la situación también es dispar respecto a la separación mínima durante el adelantamiento, encontrándose países donde no existe tal limitación, caso de Japón, y otros dónde dependiendo de la división administrativa pueden tener establecidos o no separaciones mínimas. Por ejemplo, en una veintena de Estados de EEUU se establece una separación mínima de 3 pies (0,9 m) y solo en uno 4 pies (1,2 m), no existiendo limitación en el resto. También, solo en una provincia de Canadá se establece 1 m de separación. Igualmente, en un estado de Australia, Nel Queensland, se establece 1 m de separación mínima en carreteras con limitación por debajo de 60 km/h y de 1,50 m para velocidades superiores, pero no en los restantes, aunque también se está intentando extender esta limitación al resto.

En el caso específico de España, la regulación sobre circulación de bicicletas y su interacción con el resto de vehículos viene recogida en el Reglamento General de Circulación (Real Decreto 1.428/2003, de 21 de noviembre) y posteriores Decretos modificativos.

A continuación, se recogen, a modo de resumen, los aspectos más relevantes correspondientes a la circulación de bicicletas y adelantamientos a ciclistas en carreteras convencionales.

En el ámbito de la circulación de los ciclistas podemos destacar los siguientes aspectos recogidos en este Reglamento:

- En el artículo 12 referente a normas relativas a ciclos, ciclomotores y motocicletas se establece que los ciclos que, por construcción, no puedan ser ocupados por más de una persona podrán transportar, no obstante, cuando el conductor sea mayor de edad, un menor de hasta siete años en asiento adicional que habrá de ser homologado.
- El artículo 35 establece que la utilización del carril habilitado para VAO queda limitada a motocicletas, turismos y vehículos mixtos adaptables, y está prohibida, por tanto, al resto de los vehículos y conjuntos de vehículos, incluidos los turismos con remolque, así como a peatones, ciclos, ciclomotores, vehículos de tracción animal y animales.
- En el artículo 36 se detalla que:
 - Los conductores de vehículos de tracción animal, vehículos especiales con masa máxima autorizada no superior a 3.500 kilogramos, ciclos, ciclomotores, vehículos para personas de movilidad reducida o vehículos en seguimiento de ciclistas, en el caso de que no exista vía o parte de ella que les esté especialmente destinada, circularán por el arcén de su derecha, si fuera transitable y suficiente para cada uno de éstos, y, si no lo fuera, utilizarán la parte imprescindible de la calzada. En los descensos prolongados con curvas, cuando razones de seguridad lo permitan, los conductores de bicicletas podrán abandonar el arcén y circular por la parte derecha de la calzada que necesiten.
 - Se prohíbe que los vehículos enumerados en el apartado anterior circulen en posición paralela, salvo las bicicletas, que podrán hacerlo en columna de a dos, orillándose todo lo posible al extremo derecho de la vía y colocándose en hilera en tramos sin visibilidad, y cuando formen aglomeraciones de tráfico. En las autovías solo podrán circular por el arcén, sin invadir la calzada en ningún caso.

- El conductor de cualquiera de los vehículos enumerados en el apartado primero de este artículo, excepto las bicicletas, no podrá adelantar a otro si la duración de la marcha de los vehículos colocados paralelamente excede los 15 segundos o el recorrido efectuado en dicha forma supera los 200 metros.
- En el artículo 38 se establece la prohibición de circular por autopistas y autovías con vehículos de tracción animal, bicicletas, ciclomotores y vehículos para personas de movilidad reducida. No obstante, los conductores de bicicletas mayores de 14 años podrán circular por los arcenes de las autovías, salvo que por razones justificadas de seguridad vial se prohíba mediante la señalización correspondiente. Dicha prohibición se complementará con un panel que informe del itinerario alternativo.
- El artículo 48 detalla que, para ciclos, ciclomotores de dos y tres ruedas y cuadriciclos ligeros la velocidad máxima de circulación será de 45 km/h. No obstante, los conductores de bicicletas podrán superar dicha velocidad máxima en aquellos tramos en los que las circunstancias de la vía permitan desarrollar una velocidad superior.
- El artículo 54 establece que todo conductor de un vehículo que circule detrás de otro deberá dejar entre ambos un espacio libre que le permita detenerse, en caso de frenado brusco, sin colisionar con él, teniendo en cuenta especialmente la velocidad y las condiciones de adherencia y frenado. No obstante, se permitirá a los conductores de bicicletas circular en grupo sin mantener tal separación, extremando en esta ocasión la atención, a fin de evitar alcances entre ellos.
- El artículo 64, sobre prioridad de paso de los ciclistas, detalla que, como regla general, y siempre que sus trayectorias se corten, los conductores tienen prioridad de paso para sus vehículos en la calzada y en el arcén, respecto de los peatones y animales, salvo en los casos enumerados en los artículos 65 y 66, en que deberán dejarlos pasar, llegando a detenerse si fuera necesario. Los conductores de bicicletas tienen prioridad de paso respecto a los vehículos de motor:
 - Cuando circulen por un carril bici, paso para ciclistas o arcén debidamente señalizados.
 - Cuando para entrar en otra vía el vehículo de motor gire a derecha o izquierda, en los supuestos permitidos, y haya un ciclista en sus proximidades.
 - Cuando circulando en grupo, el primero haya iniciado ya el cruce o haya entrado en una glorieta.
 - En los demás casos serán aplicables las normas generales sobre prioridad de paso entre vehículos.
- El artículo 117 señala que los conductores de bicicletas y, en su caso, los ocupantes estarán obligados a utilizar cascos de protección homologados o certificados según la legislación vigente, cuando circulen en vías interurbanas, salvo en rampas ascendentes prolongadas, o por razones médicas que se acreditarán conforme establece el artículo 119.3, o en condiciones extremas de calor. Los conductores de bicicletas en

competición, y los ciclistas profesionales, ya sea durante los entrenamientos o en competición, se registrarán por sus propias normas.

Respecto a los adelantamientos a bicicletas, el Reglamento recoge:

- El artículo 85 señala que cuando se adelante fuera de poblado a peatones, animales o a vehículos de dos ruedas o de tracción animal, se deberá realizar la maniobra ocupando parte o la totalidad del carril contiguo de la calzada, siempre y cuando existan las condiciones precisas para realizar el adelantamiento en las condiciones previstas en este reglamento; en todo caso, la separación lateral no será inferior a 1,50 metros (Figura 1). Queda expresamente prohibido adelantar poniendo en peligro o entorpeciendo a ciclistas que circulen en sentido contrario. Del mismo modo, el conductor de un vehículo de dos ruedas que pretenda adelantar fuera de poblado a otro cualquiera lo hará de forma que entre aquél y las partes más salientes del vehículo que adelanta quede un espacio no inferior a 1,50 metros.
- En el artículo 88 se establece que cuando en un tramo de vía en el que esté prohibido el adelantamiento se encuentre inmovilizado un vehículo que, en todo o en parte, ocupe la calzada en el carril del sentido de la marcha, salvo que la inmovilización venga impuesta por las necesidades del tráfico, podrá ser rebasado, aunque para ello haya que ocupar la parte de la calzada reservada al sentido contrario, después de haberse cerciorado de que se puede realizar la maniobra sin peligro. Con idénticos requisitos se podrá adelantar a conductores de bicicletas, ciclos, ciclomotores, peatones, animales y vehículos de tracción animal, cuando por la velocidad a que circulen puedan ser adelantados sin riesgo para ellos ni para la circulación en general.



Figura 1. Recordatorio sobre separación en adelantamiento a ciclistas.

1.2.4 Metodología de la investigación

La investigación se ha desarrollado atendiendo a las siguientes etapas clave:

Planteamiento de la cuestión:

En la actualidad el análisis de la siniestralidad de ciclistas se basa, fundamentalmente, en la interpretación de los datos disponibles en los partes de accidentes una vez ocurridos y en las declaraciones de los afectados, si se dispone de ellas.

Por otro lado, también son varias las publicaciones y guías en las que se plantean recomendaciones para el diseño de vías ciclistas seguras y funcionales basadas, generalmente, en la separación de tráfico, en la integración de espacios y en el tratamiento de puntos de conflicto.

Sin embargo, no se ha desarrollado ni se ha profundizado en una metodología que permita analizar en sí el fenómeno del adelantamiento in situ tomando datos sobre separaciones, trayectorias, velocidades, etc. que permitan analizar la peligrosidad de la maniobra para el ciclista y que puedan servir de base para fijar criterios de peligrosidad de una vía para ese tipo de usuarios más vulnerables.

Estudio inicial del estado de la cuestión en las fuentes bibliográficas:

Tras el planteamiento del objeto de la investigación, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de cuantos estudios existan documentados. Se han buscado artículos y publicaciones en las que se recoja la investigación in situ del fenómeno de adelantamiento, prestando especial atención tanto a los que contemplan la instrumentación de la bicicleta y los parámetros o variables a determinar. Igualmente, se ha recopilado información en relación a los efectos aerodinámicos y fuerzas a las que queda sometido el ciclista durante la maniobra.

Esta fase ha permitido establecer las bases de conocimiento actual y sus limitaciones que han servido para fijar los objetivos de la investigación y el desarrollo de los criterios de diseño de las pruebas y el posterior análisis de los datos obtenidos. Constituye el “estado del arte de la cuestión”.

Desarrollo de la investigación:

Una vez aunado el conocimiento necesario, es posible abordar los criterios para el diseño de la instrumentación de la bicicleta y para el posterior análisis de los datos recopilados.

En esta fase se realiza también el estudio de los diferentes parámetros a medir, datos a tomar in situ, instrumental necesario para su almacenamiento e implementación del mismo en la bicicleta.

A continuación, se ha procedido a la realización tanto de una primera prueba piloto, en la que se ha realizado la toma de datos reales con el fin de calibrar y garantizar el correcto funcionamiento de la metodología y la instrumentación colocada, como una serie de salidas posteriores de bicicletas instrumentadas para la toma de datos en las restantes carreteras

elegidas. La información recogida se ha volcado en los sistemas informáticos para poder proceder al correcto tratamiento de los datos.

Finalmente, se han analizado los datos recopilados y reducidos con el fin de obtener conclusiones sobre los diferentes parámetros involucrados, los factores de riesgo detectados y establecer recomendaciones prácticas para mejorar la seguridad de los ciclistas tanto en las carretas convencionales en servicio como en el proyecto de nuevas infraestructuras.

Informe sobre conclusiones y futuras líneas de investigación:

Constituye el apartado que culmina la investigación y que resume la ampliación del conocimiento que ha supuesto, a la vez que marca los objetivos de futuras investigaciones que tendrán en ésta su punto de partida y que podrán constituir en sí mismas nuevas ramas de saber.

2 Estado del arte

En este apartado se ha procedido a realizar una revisión y recopilación de los conocimientos existentes en el ámbito de la maniobra de adelantamiento a bicicletas que se disponen hasta la fecha, con especial incidencia en los sistemas utilizados para la toma de datos y en las variables consideradas.

2.1 Líneas de estudio

Del análisis de la literatura no se deducen excesivas investigaciones en las que se analice el fenómeno de adelantamiento de ciclistas como tal. Sí son múltiples las que se centran en el análisis de accidentes y sus causas tanto en zona urbana o periurbana como en zona interurbana, pero son escasas las iniciativas orientadas a analizar el fenómeno del adelantamiento mediante imágenes y toma de datos in situ del fenómeno. Igualmente, también son escasas las que estudian los efectos aerodinámicos y fuerzas a las que quedan sometidos los ciclistas durante las maniobras de adelantamiento.

En este apartado se revisarán tanto las distintas metodologías empleadas para el estudio de la maniobra de adelantamiento a ciclistas, realizando el análisis exhaustivo de cada una de ellas de manera que sea posible extraer conclusiones y resultados, como los estudios sobre fuerzas transmitidas durante la maniobra.

2.1.1 Sobre la instrumentación y toma de datos

Se han realizado algunos estudios de campo sobre la maniobra de adelantamiento a bicicletas desde finales de los años setenta, ya que para estudiar este fenómeno de una manera lo más realista posible, los modelos teóricos y las normativas existentes se muestran insuficientes. Se trata de mediciones en la propia carretera de adelantamientos reales, que pretenden obtener una descripción lo más exacta posible de la maniobra.

En este ámbito se ha detectado un salto cualitativo importante en las investigaciones mediante uso de bicicletas instrumentadas antes y después del año 1997. Antes de esa fecha, las escasas investigaciones son las realizadas únicamente por Watts entre 1977 y 1984, utilizando medios tecnológicos y metodologías menos avanzadas que las que empiezan a utilizarse a partir de 1997.

2.1.1.1 Investigaciones anteriores a 1997

Watts (1977) realizó el primer estudio sobre adelantamientos a bicicletas instalando una bandera o un disco horizontal en la parte trasera de las bicicletas y un chaleco reflectante al ciclista (Figura 2), el cual circulaba por carreteras convencionales y suburbanas.

Estos dispositivos estaban destinados tanto a aumentar la distancia a la que los vehículos adelantaban al ciclista, como a hacer más visible a éste.

Para establecer la separación de adelantamiento, dispuso una cámara en la parte de atrás de la bicicleta (Figura 3) con la que se fotografiaron los adelantamientos para luego medir la distancia de separación en gabinete.

Los resultados obtenidos (Tabla 3) reflejaban un ligero aumento de la separación al utilizar los accesorios señalados.

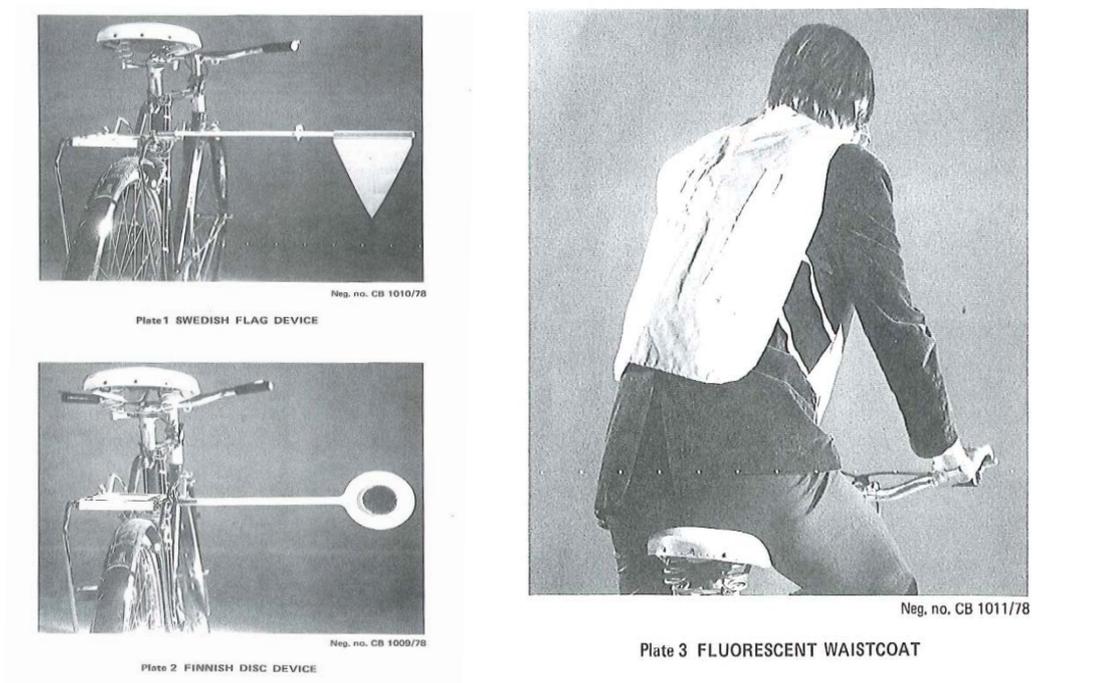


Figura 2. Disposición de separadores y chaleco reflectante, Watts (1977).

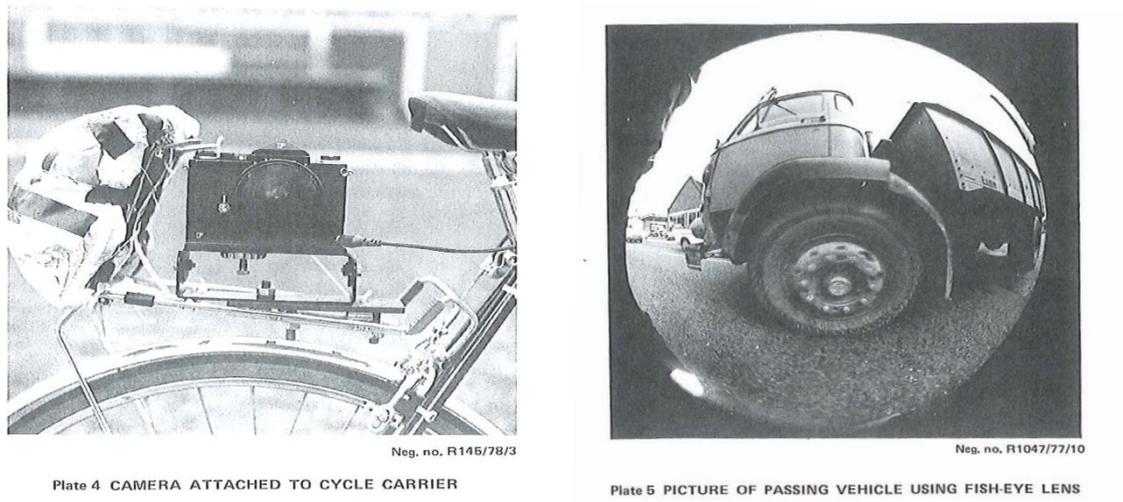


Figura 3. Cámara sobre portaobjetos trasero, Watts (1977).

TABLE 1
Mean passing distances from bicycle frame (m)

Location		Swedish flag			Finnish disc			Fluorescent waistcoat		
		With	Without	Difference	With	Without	Difference	With	Without	Difference
<i>Rural</i>	1	1.816 (61)	1.685 (67)	0.131* ±0.124	1.825 (97)	1.622 (99)	0.203*** ±0.098	1.661 (94)	1.643 (98)	0.018 ±0.095
	2	1.994 (76)	1.841 (82)	0.153** ±0.112	2.132 (104)	2.037 (98)	0.095* ±0.093	2.021 (154)	1.998 (151)	0.023 ±0.083
<i>Suburban</i>	3	1.902 (96)	1.806 (101)	0.096* ±0.092	1.961 (101)	1.892 (103)	0.069* ±0.066	1.979 (116)	1.943 (118)	0.036 ±0.090
	4	1.732 (100)	1.630 (106)	0.102* ±0.095	1.822 (199)	1.767 (204)	0.055 ±0.070	1.788 (214)	1.673 (217)	0.115*** ±0.065

Figures in brackets refer to number of measurements made.

* = significant at 5 per cent level
 ** = significant at 1 per cent level
 *** = significant at 0.1 per cent level

Tabla 3. Análisis de separaciones sin y con accesorios, Watts (1977).

Posteriormente en 1980 continuó con sus investigaciones y, mediante la recopilación de datos de observación visual, realizó un análisis del uso de luces y chalecos reflectantes por ciclistas durante la noche.

Finalmente, en 1984 realizó dos nuevas investigaciones. En la primera de ellas analizó la incidencia de diferentes complementos de ropa como chaqueta, chaleco, sombrero..., con y sin reflectantes, en la separación durante el adelantamiento. Para ello utilizó un distanciómetro de ultrasonidos colocado en una cesta delantera de una bicicleta y conectado a un colector de datos (Figura 4). Realizó mediciones tanto diurnas como nocturnas.

En la segunda de ellas profundizó en la influencia de los elementos de balizamiento lateral, "separadores", en la separación de los vehículos cuando adelantan a ciclistas.

Para ello utilizó nuevamente un distanciómetro de ultrasonidos determinando la influencia en la separación durante el adelantamiento de diversos separadores en los que cambiaba la longitud de la varilla y la forma del elemento (triangular, disco y estrella).

Realizó las mediciones de día principalmente, aunque también realizó algunas observaciones durante el anochecer y periodo nocturno en carreteras convencionales.

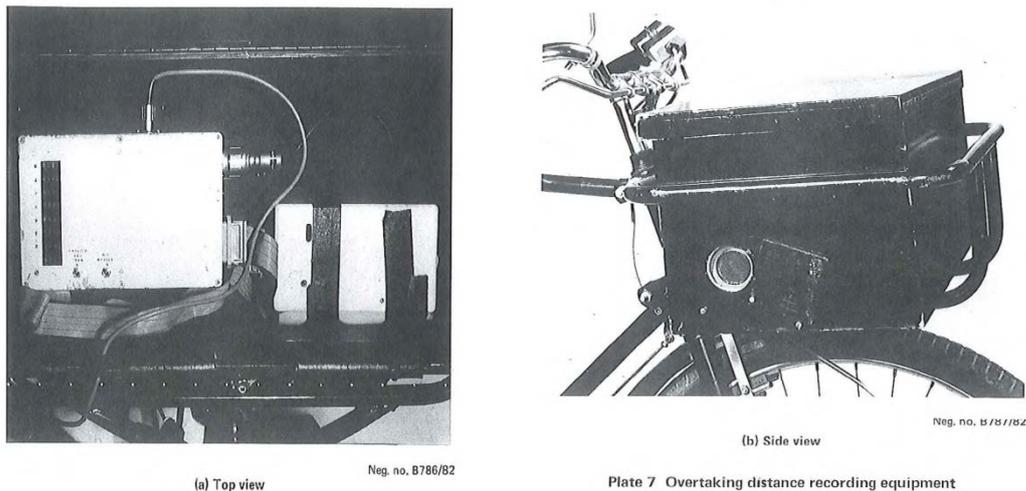


Figura 4. Dispositivo captador de datos y distanciómetro de ultrasonidos en cesta delantera, Watts (1984).

En los años siguientes se publicaron distintas investigaciones relacionadas con estudios de siniestralidad o seguridad en los ciclistas, así como estudios de tráfico en intersecciones urbanas y no fue hasta 1997 cuando Harkey y Stewart publicaron un artículo sobre la evaluación de instalaciones de uso compartido para bicicletas y vehículos de motor donde se retomó la investigación sobre adelantamientos a bicicletas.

2.1.1.2 Investigaciones desde 1997

Las investigaciones descritas en el apartado anterior han servido de base para otras investigaciones metodológicas, así como para otras investigaciones de carácter no metodológico sobre estudios sobre seguridad, accidentalidad de los ciclistas y percepción de los ciclistas y conductores en la interacción entre ellos.

Para la obtención de datos de la maniobra de adelantamiento a bicicletas se han utilizado distintas técnicas de grabación de video, desde cámaras en un turismo en circulación, cámaras instaladas en las inmediaciones de la plataforma de la carretera, hasta bicicletas instrumentadas con distintos dispositivos de medición, todas ellas con posterior tratamiento de imágenes y datos.

A continuación, se resume la mayor parte de estudios de campo sobre la maniobra de adelantamiento a ciclistas que se han venido realizando. Para la síntesis de las investigaciones se ha extraído la información perteneciente a la localización del estudio, metodología utilizada, análisis de los datos y las propias conclusiones del estudio.

2.1.1.2.1 Harkey y Stewart (1997)

Los autores de este estudio se plantearon como objetivo evaluar la seguridad y utilidad de espacios de uso compartido entre vehículos y ciclistas a fin de proporcionar a los ingenieros y planificadores información para la planificación, diseño y construcción de este tipo de vías. La evaluación incluyó carreteras con carriles anchos de uso compartido, carriles para bicicletas y arcenes pavimentados.

Localización del estudio

Se estudiaron más de 40 carreteras en seis áreas metropolitanas con tres tipos de secciones transversales distintas:

- Carreteras con carriles anchos de uso compartido: ancho de carril entre 14 y 15 pies, con anchura para el ancho de uso ciclista entre 1,3 y 1,5 pies y velocidades entre 35 y 45 mph.
- Carriles para bicicletas: anchos de carril entre 14 y 19,5 pies, con anchura para el uso ciclista entre 3 y 6,5 pies y velocidades entre 30 y 50 mph.
- Arcenes pavimentados: anchos de carril entre 14 y 16 pies, con anchura para el uso ciclista entre 3 y 4,5 pies, y velocidades entre 35 y 45 mph.

Entre las 40 carreteras estudiadas se eligieron finalmente 13 con las características descritas anteriormente y distribuidas según la Tabla 4.

Type of Facility	Type of Area	
	Urban	Rural
Wide Curb Lane	3	0
Bicycle Lane	5	2
Paved Shoulder	2	1

Tabla 4. Número de estudios por área y características de la vía, Harkey y Stewart (1997).

Metodología

En cuanto a la metodología utilizada, instrumentaron una furgoneta con la que realizaron un seguimiento a los vehículos a través de la vía seleccionada, siendo éstos grabados por las cámaras instaladas en la furgoneta. Realizaron recorridos de 0,25 a 0,5 millas de ida y vuelta buscando situaciones de interacción entre éstos y los ciclistas para proceder posteriormente a la reducción de datos. El equipo utilizado fue el siguiente:

- Una cámara de 35 mm con zoom de 100-300mm.
- Una video cámara S-VHS con zoom.
- Trípode de alta resistencia con estabilización.
- Baterías.

Análisis de los datos

Se registraron más de 1.500 interacciones entre conductores y ciclistas a través de cintas de video e imágenes de 35 mm. Después se procedió a la restitución y reducción de los datos midiendo desde la rueda trasera del vehículo hasta el borde de la vía y la distancia entre la llanta trasera de la bicicleta a la línea central de la vía (Figura 5). Se estudiaron, entre otras, las siguientes variables:

- Tipo vehículo.
- Tráfico carril contrario.
- Colocación lateral del ciclista en la vía
- Colocación lateral del vehículo de motor en la vía.
- Separación entre la bicicleta y el vehículo de motor.
- Invasión por el conductor y/o ciclista durante la maniobra de paso.

Después de la reducción de los datos realizaron un análisis estadístico obteniendo distintas conclusiones.

Conclusiones

Las principales conclusiones extraídas del análisis de los resultados fueron:

- El tipo de vía no tenía un efecto importante sobre la distancia entre el vehículo y la bicicleta.
- Los conductores de los vehículos eran mucho menos propensos a invadir el carril adyacente al adelantar a un ciclista en carreteras con arcenes pavimentados o carriles para bicicletas.
- Los conductores de los vehículos variaban menos su posición cuando adelantaban a un ciclista en carreteras con arcenes pavimentados o con carriles para bicicletas.
- En general, la presencia de una línea de separación entre los ciclistas y los vehículos reducía el número de maniobras extrañas y aumenta el nivel de comodidad para los usuarios de la carretera.

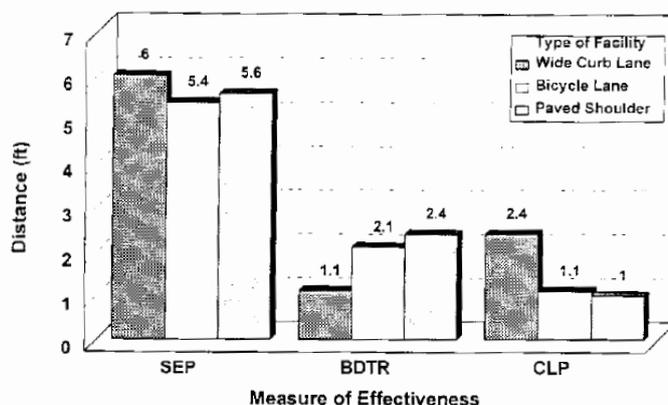


Figura 5. Distancias medias por tipo de vía entre vehículo y ciclista SEP, borde del carril y bicicleta BDTR y cambio en la posición lateral del vehículo adelantante CLP, Harkey y Stewart (1997).

2.1.1.2.2 Hunter et al. (1999)

Los autores de este estudio realizaron un análisis comparativo entre los conflictos producidos entre vehículos y ciclistas en intersecciones con carriles para bicicletas o carriles anchos de uso compartido.

Localización del estudio

El estudio se realizó en la zona urbana de las ciudades de Santa Bárbara, Gainesville y Austin en ocho intersecciones normales e intersecciones con carril central con los dos tipos de configuración que se muestran en la Figura 6, en condiciones de velocidad variable y distintas condiciones de tráfico, clasificándolas en:

- Carriles anchos de uso compartido:
 - ancho de carril de 4,3 m o menos y más de 4,3 m
 - velocidades de 50 km/h o menos y más de 50 km/h
 - bajo o alto volumen de tráfico
- Carriles para bicicletas:
 - anchos de carril ciclista de 1,5 m o menos y más de 1,5 m
 - velocidades de 50 km/h o menos y más de 50 km/h
 - bajo o alto volumen de tráfico

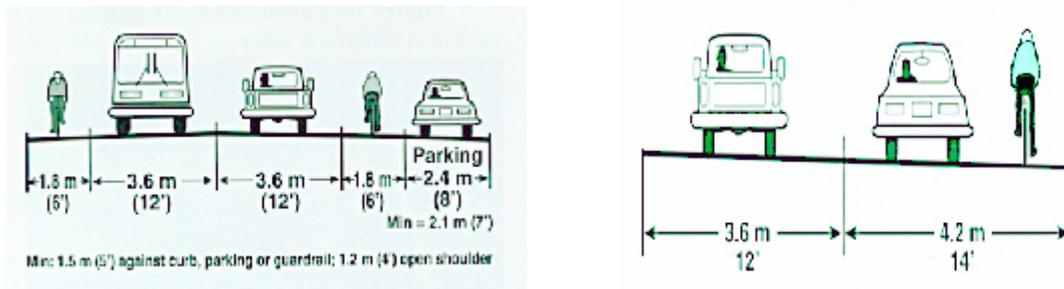


Figura 6. Carriles para bicicletas y carriles anchos de uso compartido, Hunter et al. (1999).

Metodología

Se procedió a realizar las grabaciones de las intersecciones en las ciudades citadas con la finalidad de obtener datos sobre las interacciones entre vehículos con ciclistas o peatones. Al mismo tiempo se realizaron encuestas en 16 puntos de estas localizaciones.

Se utilizó una cámara montada sobre una escalera de 3 m o una plataforma mecánica a una distancia de entre 30 y 40 m de la intersección y observando más de 150 m más allá de la intersección. De este modo se grababa a los ciclistas acercándose a la intersección. Cada intersección fue grabada dos veces durante 2 h.

Utilizando esta metodología estudiaron una serie de variables correspondientes a los ciclistas, tales como:

- Sexo.
- Edad.
- Raza.
- Experiencia.
- Circulación errónea.

- Tráfico existente en el carril contrario.
- Otros conflictos.

Análisis de los datos

Se grabaron cintas de video con casi 4.600 ciclistas, 2.700 en carriles para bicicletas y 1.900 en carreteras con carriles anchos de uso compartido. Igualmente, se obtuvieron cerca de 2.900 encuestas con datos de edad, hábitos de conducción y experiencia de los ciclistas.

Con estos datos se confeccionó una base de datos con los que realizaron un test estadístico para obtener una serie de conclusiones a través de su estudio.

Conclusiones

Se produjeron 369 conflictos totales en 48 lugares, de los cuales 276 (un 6%) fueron conflictos entre bicicletas y vehículos a motor. Se detectó que, tanto los carriles anchos de uso compartido como los carriles para bicicletas, podían ser utilizados para mejorar las condiciones de conducción de los ciclistas. Igualmente, se concluyó que los carriles para bicicletas, en general, podían albergar más ciclistas que los carriles anchos de uso compartido.

2.1.1.2.3 Hunter (1999)

En su estudio se planteó como objetivo evaluar la influencia de las carreteras con arcenes pintados de color rojo sobre la velocidad de los vehículos que circulan por estas vías, así como la interacción entre estos vehículos y los ciclistas existentes.

Localización del estudio

La carretera estudiada se situaba entre Monte Dora y Tavares, a unas 35 millas al noroeste de Orlando, con una longitud de aproximadamente 5 millas y un ancho medio de calzada de 19 pies.

El límite de velocidad era de 35 mph y circulaban, aproximadamente, 1.700 vehículos al día. Contaba con arcenes de 3 pies de ancho y en un tramo de 1,1 millas estos arcenes estaban pintados de color rojo con pintura antideslizante.

Metodología

Se realizaron una serie de grabaciones en 4 zonas (Figura 7). Concretamente, un tramo sin arcén rojo, dos tramos con arcenes pintados donde existía en uno de ellos una intersección y en el otro una rotonda, y un tramo sin arcén, todos ellos a través de la carretera descrita anteriormente.

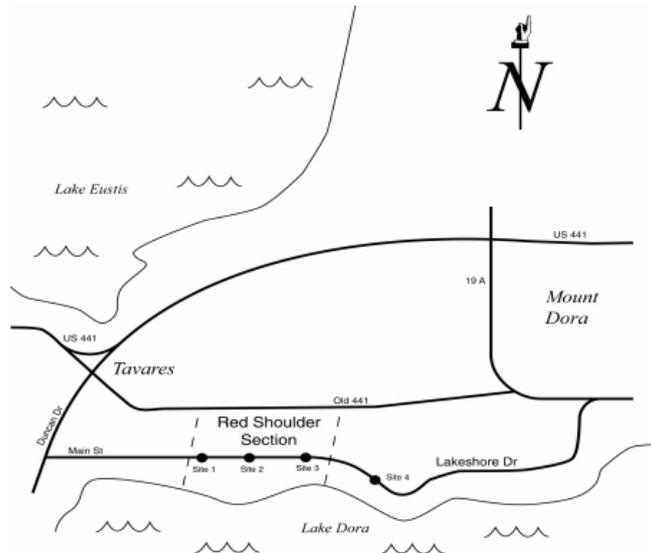


Figura 7. Localizaciones, Hunter (1999).

Se iniciaron las grabaciones tanto entre semana como durante fines de semana, pero después de comprobar el poco tráfico de ciclistas entre semana se decidió grabar sólo fines de semana grabando alrededor de cuatro horas por jornada.

Estos vídeos eran analizados y las imágenes restituidas como muestra la Figura 8. Los datos extraídos eran añadidos a una base de datos para una posterior obtención de resultados.

Los datos de velocidad eran tomados a través de tubos neumáticos y contadores digitales en lugares con y sin arcén pintado.

Finalmente se elaboró un cuestionario a contestar por los ciclistas con preguntas sobre su edad, sexo y percepción de los arceles pintados de rojo.

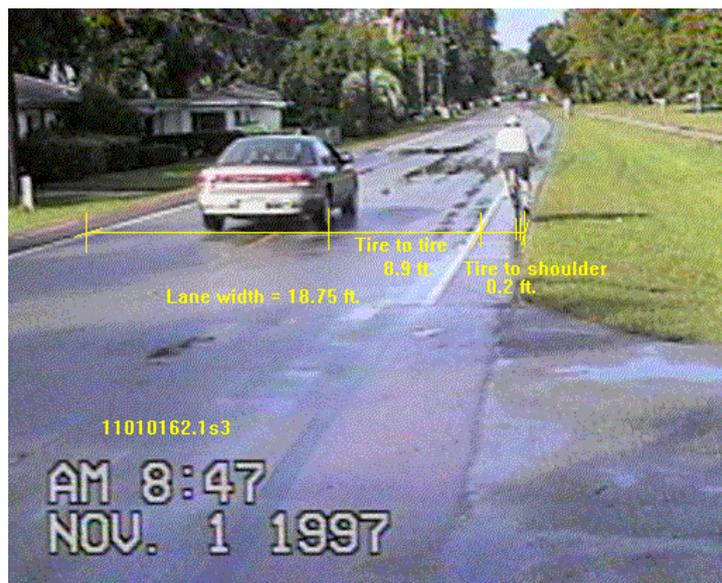


Figura 8. Restitución de imágenes Hunter (1999).

Análisis de los datos

Después del análisis de los vídeos se obtuvo información de 757 ciclistas circulando a través de los 4 tramos descritos anteriormente. De los datos de circulación y de los cuestionarios se obtuvieron resultados sobre uso de arcén, edad y sexo de los ciclistas entre otras.

Se obtuvieron datos de 374 adelantamientos, analizándose una serie de variables como:

- Invasión del carril contrario por el vehículo adelantante calificándola de menor, moderada o severa según el porcentaje de vehículo que invadía el carril contrario.
- Posición lateral de los ciclistas en el momento del adelantamiento. Mediante restitución de imágenes se obtuvo la posición tanto del ciclista como del vehículo respecto a la línea de arcén durante el adelantamiento.
- Velocidad de los vehículos antes y después de los tramos de arcenes coloreados.

Conclusiones

De los datos tomados extrajeron una serie de conclusiones, entre ellas:

- Los ciclistas se situaban, generalmente, en la misma posición tanto en los tramos con arcén coloreado como en los tramos sin colorear.
- Un 80% de los ciclistas circulaban por el arcén.
- La separación entre el vehículo adelantante y el ciclista fue mayor en los tramos sin arcenes coloreados.
- No existía diferencia de velocidad media de los vehículos antes o después del arcén coloreado.

2.1.1.2.4 Hunter et al. (2005)

El objetivo principal de su estudio fue examinar los efectos operacionales de la conversión de una carretera con carril de uso compartido de 14 pies de ancho a otra con un carril de circulación de 11 pies y con una franja de 3 pies de uso reservado para ciclistas.

Localización del estudio

Se eligieron seis tramos con carril central y cuatro intersecciones en varios lugares en zona urbana del condado de Broward (Florida), con un flujo de tráfico de entre 25.000 y 45.000 vehículos al día. La velocidad límite en estos puntos se situaba entre 40 y 45 mph. Las características de las zonas son las mostradas en la Tabla 5.

Midblock Locations	Traffic Volume (vehicles per day)	Speed Limit (miles per hr)	Midblock Cross-Section Information (both directions)
M-1 Andrews north of McNab	19,600	40	4 through lanes with 2-way center turn lane
M-2 Rock Island north of McNab	34,800	40	4 through lanes with grass median
M-3 Broward at Central Park Place shopping center	28,000	45	6 through lanes with grass median
M-4 Pine Island between Griffin and Stirling	9,700	45	4 through lanes with grass median – no curbing
M-6 McNab between Andrews and Powerline	19,500	45	4 through lanes with previous 3' undesignated striping
M-7 US1 near NE 48 th Street	45,000	45	6 through lanes with grass median and previous 3' undesignated striping
Intersection Locations			Intersection Cross-Section Information (1 direction only)
I-1 Rock Island @ Margate	28,200	40	2 through lanes with 1 auxiliary left and 1 auxiliary right turn lane
I-2 Broward @ Jacaranda	28,000	45	3 through lanes with 1 auxiliary left and 1 auxiliary right turn lane – grass median
I-4 McNab @ Powerline	22,000	45	3 through lanes with 2 auxiliary left and 1 auxiliary right turn lanes - previous 3' undesignated striping
I-5 US1 @ NE 43 rd	47,500	45	3 through lanes with 2 auxiliary left and 1 auxiliary right turn lanes - previous 3' undesignated striping

Tabla 5. Localizaciones de estudio, Hunter et al. (2005).

Metodología

Se realizaron grabaciones de los tramos elegidos durante la circulación de los ciclistas antes y después de la conversión de los carriles. Estas grabaciones se realizaron desde el otoño del año 2000 hasta el verano del año 2003. Se utilizó el software SigmaScan para obtener las distancias entre el vehículo y el borde del carril, la bicicleta y el borde del carril y la distancia entre el vehículo y la bicicleta.

Análisis de los datos

Se extrajeron alrededor de 260 imágenes de los videos, siendo analizadas mediante el software SigmaScan de las cuales se pudieron extraer información referente a:

- Distancia entre el vehículo y el borde del carril.
- Distancia entre la bicicleta y el borde del carril
- Distancia entre el vehículo y la bicicleta.

Con estos datos se realizó un análisis estadístico de la varianza Anova.

Conclusiones

Después del análisis de los datos (Figura 9) se pudieron extraer 4 conclusiones generales del efecto de la transformación de los carriles:

- Los ciclistas circulaban entre 7 y 9 pulgadas más lejos del borde del carril.
- Los vehículos circulaban entre 6 y 12 pulgadas más lejos del borde del carril.
- La separación entre vehículo y ciclista aumentó entre 4 y 6 pulgadas.
- La invasión del carril contrario disminuyó.

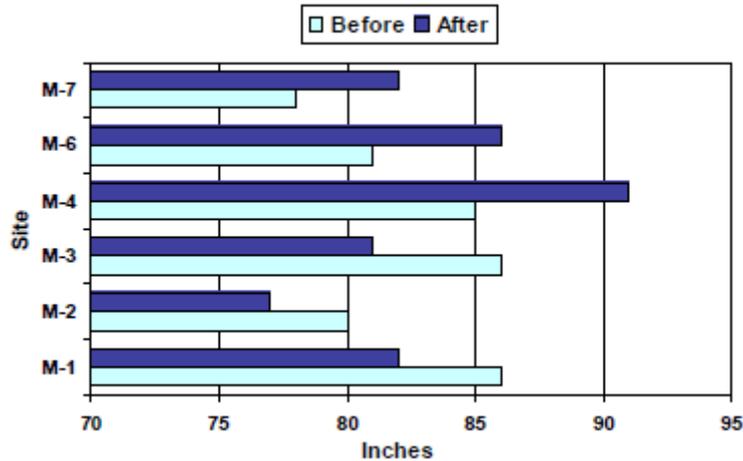


Figura 9. Comparación de medias de las separaciones entre bicicletas y vehículos antes y después de la conversión, Hunter et al. (2005).

2.1.1.2.5 Walker et al. (2006)

En su estudio se plantearon como objetivo evaluar la variación entre la separación de los ciclistas y los vehículos que adelantan a éstos a través de la toma de datos mediante una bicicleta instrumentada.

Localización del estudio

El autor recorrió 320 km en distintos momentos del día entre las 7:00 h y las 18:00 h durante los meses de mayo y junio de 2006 en las ciudades inglesas de Salisbury y Bristol utilizando ropa no específica. Circuló a una velocidad constante entre 17 y 20 km/h y manteniendo una distancia constante al borde de la calzada de 0,25, 0,50, 0,75, 1 ó 1,25 m. Del mismo modo, parte de los recorridos fueron realizados sin utilizar casco. La Tabla 6 muestra la cantidad de adelantamientos respecto la distancia de la bicicleta al borde de la calzada y el uso o no de casco.

	Number of overtaking events per condition					Total
	Distance from road edge (m)					
	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	
Helmet	426	270	153	197	160	1206
No helmet	244	275	186	272	172	1149
Total	670	545	339	469	332	2355

Tabla 6. Número de adelantamientos, Walker et al. (2006).

Metodología

Se equipó una bicicleta híbrida de la marca Trek con un distanciómetro ultrasónico M-5000/95 Massa con compensación de temperatura, instalado perpendicularmente a la dirección de desplazamiento.

Los datos se registraban a través de un registrador de datos MultiLog Pro a 50 Hz y un ordenador recibía la entrada de una cámara de vídeo montada en el manillar.

Se instaló un láser apuntando hacia el suelo, a la izquierda del conductor, pudiéndose ajustar para marcar varias distancias desde el eje de la bicicleta, lo que permitía al ciclista mantener caminos relativamente fijos desde el borde de la calzada.

El equipo fue ocultado a vista de los vehículos adelantantes mediante un par de alforjas mientras que, en el caso de la cámara, el propio cuerpo del ciclista impedía su visibilidad.

Análisis de los datos

Después se realizó un análisis de los vídeos para evaluar la distancia entre el vehículo adelantante y el ciclista, la posición del ciclista en la vía y la utilización o no de casco. La medición de la distancia entre el ciclista y el vehículo adelantante se midió desde el punto más a la derecha de la bicicleta. Cuando durante el adelantamiento se detectó que el ciclista podría haber sido influenciado por algún factor externo a los factores del adelantamiento, los datos resultantes fueron desestimados.

Para el análisis de la variable sexo del ciclista, el autor utilizó una peluca durante la grabación de los videos. Se obtuvieron 281 adelantamientos adicionales a lo largo de un tramo de carretera radial de 1,25 km, circulando a una distancia fija de 0,75 m del borde de la carretera.

Se obtuvieron un total de 2.320 maniobras de adelantamiento, extrayendo datos relativos a las variables anteriormente descritas y realizando un análisis estadístico con estos datos para la extracción de conclusiones.

Conclusiones

Las separaciones durante el adelantamiento entre el vehículo adelantante y los ciclistas fueron menores cuando el ciclista utilizaba casco, circulaba más lejos del borde de la calzada, era hombre o cuando el vehículo adelantante era un autobús o camión como se puede observar en la Figura 10 y en la Figura 11. Se sugirió que muchos de estos efectos eran el resultado de las suposiciones que realizaban los conductores sobre la experiencia recibida en adelantamientos anteriores. De manera resumida podemos señalar:

- Dependía de la distancia al borde de la vía y circulación con/sin casco. Al aumentar la distancia con el borde de la vía, la separación con el vehículo era menor, al igual que si llevaba casco. Por ejemplo, a 0,25 m del borde de la vía, la distancia al vehículo estaba entre 1,36 y 1,41 m si lleva caso y entre 1,44 y 1,46 si no. A 1,25 m, las separaciones estaban en los intervalos 1,1-1,16 y 1,16-1,22 m, respectivamente.
- Las diferencias fueron estadísticamente significativas para las dos variables puesto que los intervalos de confianza no se solapaban.
- Se estudió la probabilidad de que, para cada distancia al borde de la vía, las separaciones fuesen mayores o menores, obteniéndose que al estar más cerca del borde era más probable que la separación fuese más lejana (ratio 1:2) mientras que, al alejarse del

borde, era más probable que fuese menor (ratios 1,5:1 para 1 m de separación y 2,5:1 para 1,25 m de separación). Además, con casco el ratio aún fue mayor (4,33:1 para 1,25 m separación).

- Se clasificó la separación según el tipo de vehículo al resultar este parámetro estadísticamente significativo. Autobuses y camiones pasaban más cerca (entre 1,1 y 1,17 m) que turismos y deportivos (1,27-1,35 m). El tiempo de adelantamiento fue de unos 4 s en el primer caso y entre 0,5 y 1 s en el segundo caso.
- El efecto del sexo también resultó significativo dado que se obtuvieron mayores separaciones con las mujeres, hasta 0,14 m más.
- Se concluyó también que la trayectoria del vehículo era similar independientemente de dónde se encontrase el ciclista, puesto que las distancias con el ciclista no se mantenían constantes.

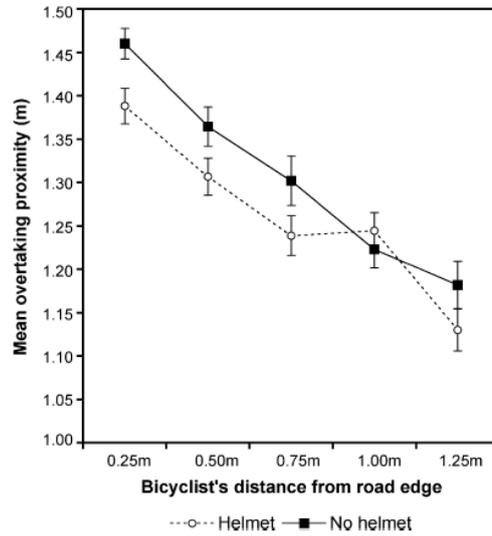


Figura 10. Separación según distancia al borde y casco Walker et al. (2006).

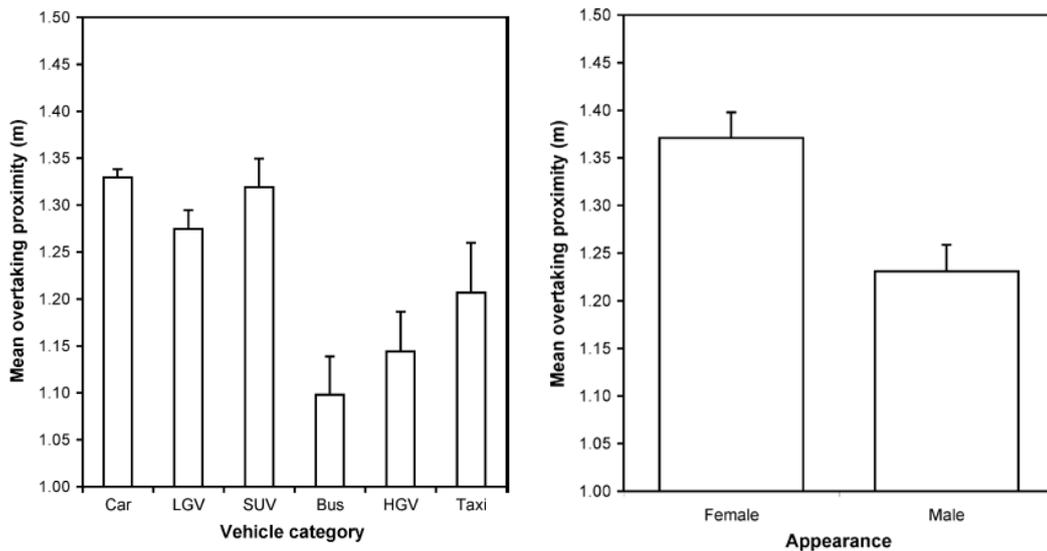


Figura 11. Separación según tipo de vehículo y sexo, Walker et al. (2006).

2.1.1.2.6 Parkin et al. (2006)

Los autores de este estudio realizaron dos modelos de percepción de riesgo de los ciclistas basados en un modelo no lineal mediante mínimos cuadrados el primero y en un modelo *logit* el segundo.

Localización del estudio

Se realizaron grabaciones de 10 rutas y 10 intersecciones en Bolton en zona urbana con una velocidad máxima permitida de 30 mph.

Estos recorridos empezaban con 5 minutos circulando por una calle residencial seguido de 7 minutos con un tráfico calmado. Este recorrido se continuaba realizando un giro a derecha a una calle muy transitada por la cual circulaban 15 minutos y, finalmente, el recorrido terminaba con 3 minutos de tráfico libre como muestra la Figura 12.

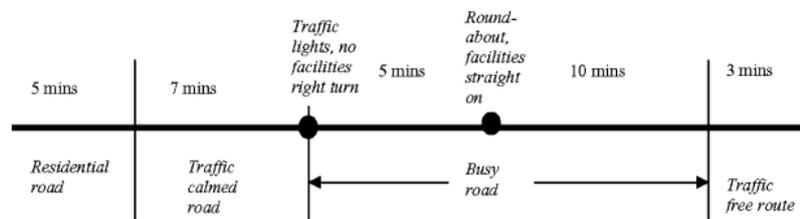


Figura 12. Tiempos de tramos de recorrido, Parkin et al. (2006).

Metodología

Los ciclistas recorrieron las rutas y cruces llevando atada en el pecho una cámara de video de gran angular. De esta forma, realizaban grabaciones en la dirección de su circulación.

Posteriormente, se les mostraban a los ciclistas 30 s de las grabaciones, los cuales realizaban una encuesta para analizar la percepción de los riesgos que observaban en las imágenes. Se les pedía, al mismo tiempo, que valoraran en una escala de riesgo el riesgo percibido.

Análisis de los datos

Se obtuvieron un total de 873 grabaciones a través de 144 ciclistas. Con los datos extraídos de los vídeos y de las encuestas de percepción (Tabla 7) se realizaron dos modelos de percepción de riesgo de ciclistas, basados uno en un modelo no lineal mediante mínimos cuadrados y en un modelo *logit* el otro. Mediante estos modelos se caracterizaba la percepción del riesgo del itinerario en base a variables de tráfico, señalización y trazado.

Summary of video clips used in the survey

Clip code	Description	Type	Turn	Bicycle facilities	Pedestrians	Parked vehicles on left	Roads joining	Two way flow vehicle/h
J ₁	Traffic signals straight on with bicycle facilities	TS	SO	Y	15	0	2	480
J ₂	Traffic signals straight on without bicycle facilities	TS	SO	N	0	0	2	592
J ₃	Traffic signals right turn with bicycle facilities	TS	RT	Y	4	0	1	910
J ₄	Traffic signals right turn without bicycle facilities	TS	RT	N	1	0	2	360
J ₅	Roundabout straight on with bicycle facilities	Rbt	SO	Y	0	0	2	90
J ₆	Roundabout straight on without bicycle facilities	Rbt	SO	N	4	3	2	90
J ₇	Roundabout right turn with bicycle facilities	Rbt	RT	Y	2	0	4	225
J ₈	Roundabout right turn without bicycle facilities	Rbt	RT	N	0	4	2	56
J ₉	Mini-roundabout straight on	Rbt	SO	N	0	0	3	480
J ₁₀	Right turn off main road	Pri	RT	N	4	0	5	752
R ₁	Residential street with parking	R		N	8	42	7	0
R ₂	Residential street without parking	R		N	4	0	1	0
R ₃	Traffic calmed road	R		Y	4	2	10	45
R ₄	Bicycle route on footway	R		Y	5	0	1	480
R ₅	Route through a park	R		Y	2	0	0	0
R ₆	City centre bicycle only route	R		Y	62	3	2	0
R ₇	Busy road with bicycle lane	R		Y	21	0	2	780
R ₈	Busy road without bicycle lane	R		N	2	0	10	1500
R ₉	Busy road without bicycle lane and with parking	R		N	9	8	5	2640
R ₁₀	Busy road with bus and bicycle lane	R		Y	20	18	11	2040

TS, traffic signals; Rbt, roundabout; Pri, priority junction; R, route; SO, straight on; RT, right turn.

Tabla 7. Sumario de vídeos, Parkin et al. (2006).

Conclusiones

Se determinó que la presencia de rotondas y cruces no tenía, en general, un efecto significativo en el riesgo percibido o en la aceptación de los ciclistas. Esto podría ser debido a que la primera percepción del ciclista frente a estas instalaciones era de más peligrosidad de lo que realmente era.

Por otra parte, las instalaciones vinculadas al equipamiento viario fueron las que menos percepción de riesgo generaron.

Si bien el objetivo de este trabajo era la percepción del riesgo como una variable que influyese en el nivel de uso de la bicicleta, se pusieron de manifiesto otras circunstancias relacionadas con la mejora de la infraestructura para el tráfico de bicicletas tales como el desarrollo de una red coherente de rutas ciclistas bien señalizadas.

2.1.1.2.7 Parkin y Meyers (2009)

Su estudio tuvo como objetivo la recolección de datos de maniobras de adelantamiento de vehículos a ciclistas y se realizó con la finalidad de mejorar el estudio descrito anteriormente realizado por el mismo autor.

Localización del estudio

Se realizaron 6 recorridos a lo largo de 3 tramos de carretera en zona urbana con velocidades máximas permitidas de 30, 40 y 50 mph y alternando tramos con y sin carril bici, esta vez con una bicicleta instrumentada. Los tramos elegidos tenían las siguientes características:

- Tramo 1: con límite de velocidad de 50 mph, se encontraba en la A6 en Cabus, cerca de Garstang, Lancashire, Inglaterra. El ancho del carril bici era de 1,45 m, con una anchura total de la carretera de 9,57 m. En la zona sin carril bici, el ancho de la carretera era de 9,64 m.

- Tramo 2: con límite de velocidad de 40 mph, se encontraba en la A6 en Broughton, al norte de Preston, Lancashire. La anchura media del carril bici era de 1,45 m, con una anchura total de la carretera 9,57 m. En la zona sin carril bici, el ancho de la carretera era de 9,37 m.
- Tramo 3: con límite de velocidad de 30 mph se encontraba en Westgate, un suburbio de Morecambe, en Lancashire. La anchura del carril bici era de 1,30 m, con una anchura total de carretera de 9,45 m. En la zona sin carril bici, el ancho de la carretera era de 9,49 m.

En la Figura 13 se detallan las dimensiones medidas de una de las vías estudiadas a modo de ejemplo.

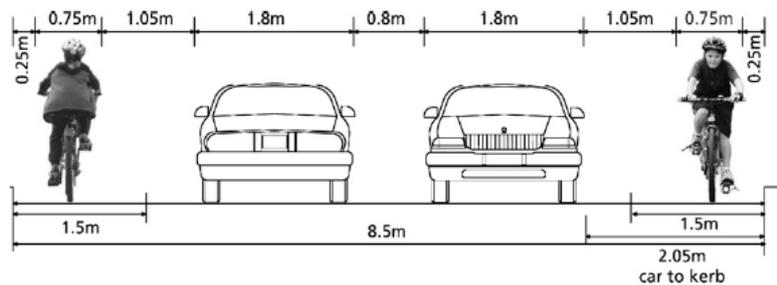


Figura 13. Ejemplo de vía de estudio, Parkin y Meyers (2009).

Metodología

Se instaló en la parrilla trasera de una bicicleta híbrida (Marin Mill Valley) una cámara de forma que el ángulo de grabación abarcara la parte derecha de la carretera y de esta manera poder grabar las maniobras de adelantamiento. Los videos eran registrados en formato MP4 mediante un dispositivo de grabación Archos 605.

La calibración se consiguió tomando imágenes de vídeo de marcas en el suelo a una distancia de 20 mm a 2.200 mm de la bicicleta en incrementos de 50 mm.

Las imágenes se visualizaron con el programa informático Windows Media Player 11. Se colocó sobre la pantalla del ordenador una transparencia con una regla para medir la posición de los objetos en relación con la bicicleta. Se tomó como referencia la rueda delantera del vehículo adelantante y de la bicicleta adelantada.

En la Figura 14 se muestra una fotografía de la parrilla trasera con el instrumental instalado.

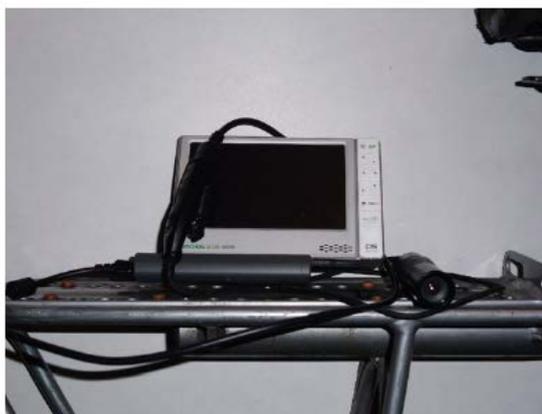


Figura 14. Instrumental instalado en parrilla trasera, Parkin y Meyers (2009).

Análisis de los datos

Se realizó un análisis de los vídeos obteniéndose las separaciones entre el vehículo adelantante y las bicicletas adelantadas en cada uno de los tramos, con y sin carril bici. Los vehículos adelantantes se clasificaron en coches, furgonetas, vehículos pesados y motocicletas.

Con los datos se realizó un análisis de la varianza mediante un análisis estadístico.

Mean passing distance and median vehicle width by class.

Site	A6, Cabus 50 mph		A6, Broughton 40 mph		Westgate 30 mph		
Carriageway width	9570	9640	9570	9370	9450	9490	
Of which cycle lane	1450		1450		1300		
Vehicle (median width)	With cycle lane	Without cycle lane	With cycle lane	Without cycle lane	With cycle lane	Without cycle lane	
Cars (1819)	Mean passing distance	1518	1699	1127	1195	1435	1472
	Number of observations	108	83	151	145	88	96
	Standard deviation	272	272	177	204	283	274
Vans (2360)	Mean passing distance	1476	1490	1175	1189	1393	1429
	Number of observations	19	21	32	22	15	17
	Standard deviation	234	304	205	212	224	315
HGVs and buses (2470)	Mean passing distance	1586	1400	1000	1140	1217	1750
	Number of observations	11	10	9	10	3	3
	Standard deviation	248	291	217	191	202	50

Note: All dimensions in millimeters.

Mean passing distance of cars as a proportion of available space in lane.

Site	A6, Cabus 50 mph		A6, Broughton 40 mph		Westgate 30 mph	
Carriageway width:	9570	9640	9570	9370	9450	9490
Of which cycle lane	1450		1450		1300	
	With cycle lane	Without cycle lane	With cycle lane	Without cycle lane	With cycle lane	Without cycle lane
Mean passing distance as proportion of available space in lane	0.701	0.772	0.520	0.579	0.681	0.693
Number of observations	108	83	151	145	88	96
Standard Deviation	0.126	0.123	0.082	0.099	0.134	0.129
Mean passing distance as proportion of available space between moving vehicles (see note 1)	0.539	0.629	0.352	0.407	0.517	0.529

Note 1: Estimated assuming an oncoming vehicle is the same distance from the centre line in the opposing lane.

Figura 15. Separaciones obtenidas, Parkin y Meyers (2009).

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se pudo concluir que en los casos en los que, existiendo carril bici éste no era lo suficientemente ancho en consonancia con la velocidad general del

tráfico existente, los conductores mantenían menores distancias en las maniobras de adelantamiento sobre los ciclistas que en tramos de carretera sin carril bici. Por lo tanto, los carriles bici no proporcionaban mayores separaciones en todas las condiciones.

2.1.1.2.8 Chapman y Noyce (2010)

El objetivo de su estudio fue implantar una metodología inicial para la recolección de datos de maniobras de adelantamiento de vehículos a ciclistas. Este estudio sirvió de base para un posterior estudio realizado por los mismos autores " Observations of Driver Behaviors during the Overtaking of Bicycles on Rural Roads" que también se encuentra analizado en apartados posteriores.

Localización del estudio

La toma de datos para este estudio se realizó en distintas carreteras rurales de dos carriles en Madison, Wisconsin.

Metodología

Se utilizó una bicicleta de carreras instrumentada circulando a una velocidad entre 15 y 25 mph a través de carreteras rurales de dos carriles en Madison.

Esta bicicleta contaba con cámaras de video instaladas en la parte delantera y trasera de la bicicleta posicionadas con un ángulo que permitiera grabar las maniobras de adelantamiento. Se instaló también un sistema GPS para obtener datos de posición y velocidad de la bicicleta durante la circulación y un distanciómetro de ultrasonidos para medir la posición del vehículo respecto al ciclista en el momento del adelantamiento (Figura 16).

Para la recolección de datos se utilizó un ordenador instalado en el portaequipajes trasero.

El ciclista utilizó un receptor GPS de muñeca para obtener datos de comparación con el sistema GPS instalado en la bicicleta.

Los datos recogidos incluyeron la distancia lateral de adelantamiento entre la bicicleta y el vehículo, la velocidad de la bicicleta y su posición y la visión delantera y trasera.

En la Figura 15, se muestran una serie de imágenes con la posición del instrumental instalado en la bicicleta.



Figura 16. Imágenes del instrumental instalado en la bicicleta, Chapman y Noyce (2010).

Análisis de los datos

Se realizó una prueba piloto en carreteras de doble sentido en zona rural. A modo de prueba, este estudio detalló dos interacciones diferentes entre vehículos a motor y la bicicleta instrumentada.

Se observó mediante estas pruebas que el alcance máximo para el sensor era de 255 pulgadas. En la Tabla 8 se muestra un registro de los datos obtenidos por el sensor de distancias.

Ride Time (s)	Ride Time (m)	Lateral Clearance (in)	Lateral Clearance (ft)	Lateral Clearance (m)
1715.60	28.5933	255	21.25	6.48
1715.65	28.5942	255	21.25	6.48
1715.70	28.5950	255	21.25	6.48
1715.75	28.5958	255	21.25	6.48
1715.80	28.5967	255	21.25	6.48
1715.85	28.5975	255	21.25	6.48
1715.90	28.5983	65	5.42	1.65
1715.95	28.5992	62	5.17	1.57
1716.00	28.6000	62	5.17	1.57
1716.05	28.6008	62	5.17	1.57
1716.10	28.6017	63	5.25	1.60
1716.15	28.6025	67	5.58	1.70
1716.20	28.6033	255	21.25	6.48
1716.25	28.6042	255	21.25	6.48
1716.30	28.6050	255	21.25	6.48
1716.35	28.6058	255	21.25	6.48
1716.40	28.6067	255	21.25	6.48
1716.45	28.6075	255	21.25	6.48

Tabla 8. Muestra de datos obtenidos por el sensor de distancias, Chapman y Noyce (2010).

Conclusiones

Un examen detallado de los datos obtenidos reveló numerosas “violaciones” de seguridad de los conductores durante el proceso de adelantamiento. Si bien casi todos los conductores conseguían mantener la distancia adecuada durante los adelantamientos al ciclista, muchos lo hicieron cruzando las dos líneas amarillas centrales en segmentos de carretera en rampa y sin arcén pavimentado, poniendo en peligro su seguridad y la de los vehículos opuestos que se aproximaban sin visibilidad suficiente.

La combinación de los datos de vídeo y sensor también revelaron que la mayoría de los conductores guardaban la separación mínima permitida manteniéndose en su carril cuando existía arcén pavimentado.

2.1.1.2.9 Love et al. (2012)

Los autores de este estudio se plantearon como objetivo evaluar si la distancia mínima permitida en los adelantamientos a ciclistas en el Estado de Maryland, 3 pies, era suficiente para que este tipo de maniobras se realizasen con seguridad.

Localización del estudio

Este estudio se realizó en distintas carreteras urbanas de los barrios de Baltimore, Maryland. Se realizaron recorridos por distintos tipos de vías como carreteras con carril compartido y carreteras con carriles para bicicletas junto a carriles de circulación de vehículos. Todos los

carriles para bicicletas analizados en el estudio tenían 5 pies de ancho. La mayoría de las carreteras de este estudio contaban con unos límites de velocidad de 25-35 km/h.

Metodología

Cinco ciclistas (cuatro de ellos hombres y una mujer) fueron grabados durante sus viajes en bicicleta durante los meses de septiembre y octubre de 2011 en Baltimore, mediante una cámara en la parte inferior de sus asientos, orientada perpendicularmente a la dirección de desplazamiento.

Con los videos obtenidos (Figura 17) se realizó un análisis de los adelantamientos sufridos y la medición de la distancia lateral mantenida mediante la restitución de estos vídeos. La distancia de adelantamiento se midió desde la rueda delantera del vehículo hasta el plano perpendicular de la bicicleta.

Se aplicó un factor de corrección a cada mediación para restar la longitud del manillar de la bicicleta al ser el extremo de éste el punto más cercano al vehículo que adelanta la bicicleta. También se tuvieron en cuenta otras variables tales como fecha, tiempo, conductor, calle, existencia de arcén y el tipo de vehículo adelantante.



Figura 17. Imágenes desde la cámara instalada en la bicicleta, Love et al. (2012).

Análisis de los datos

Se grabaron un total de 10,8 h de vídeo a lo largo de 34 recorridos, obteniéndose un total de 586 adelantamientos. Con los datos obtenidos se realizó un modelo de regresión lineal múltiple utilizando como variables el ancho de carril, la existencia o no de carril bici, el sexo del ciclista y el tipo de calle.

De este análisis se obtuvieron resultados significativos como la significancia del ancho de carril, siendo la separación mayor cuanto mayor era el ancho de carril y de la infraestructura, siendo también mayor la separación en carriles bici agregados que en las carreteras con sobrecarril. No se obtuvieron separaciones distintas dependiendo del sexo del ciclista o el tipo de vehículo adelantante.

Conclusiones

En el estudio se puso de manifiesto que, en Baltimore, Maryland, la distancia de seguridad en los adelantamientos a ciclistas no siempre se cumplía. Por lo tanto, la seguridad de los ciclistas podía verse comprometida.

Como consecuencia, se planteó también la necesidad de intervenciones estratégicas y campañas de educación para influir en el comportamiento de los conductores en Baltimore y para difundir las normas de adelantamiento a ciclistas y así mejorar la aplicación y el cumplimiento de la ley.

Igualmente, se planteó también la construcción de carriles bici como una solución a nivel de infraestructura de transporte para solucionar esta problemática.

2.1.1.2.10 Chapman y Noyce (2012)

En su estudio se plantearon como objetivo obtener datos de separaciones laterales durante maniobras de adelantamiento entre vehículos adelantantes y bicicletas recogiendo datos mediante una bicicleta de carreras instrumentada. Este estudio sirvió como complemento del estudio realizado con anterioridad por los mismos autores, "A Methodology for a Low-Cost, Portable, On-Bicycle Data Collection System", analizado también en este apartado.

Localización del estudio

Los recorridos se realizaron (Figura 18) en el suroeste del Condado de Dane, en el sur de Wisconsin, a lo largo de las carreteras troncales del estado y del condado y por caminos rurales.



Figura 18. Localización de recorridos, Chapman y Noyce (2012).

Metodología

Se utilizó una bicicleta instrumentada con cámaras de video instaladas en la parte delantera y trasera de la bicicleta, posicionadas con un ángulo que permitiera grabar las maniobras de adelantamiento.

Se instaló un sistema GPS para obtener datos de posición y velocidad de la bicicleta durante la circulación y un distanciómetro de ultrasonidos para medir la posición del vehículo respecto al ciclista en el momento del adelantamiento.

Para la recolección de datos, se utilizó un ordenador instalado en el portaequipajes trasero.

El ciclista utilizó un receptor GPS de muñeca para obtener datos de comparación con el sistema GPS instalado en la bicicleta.

Los datos recogidos incluyeron la distancia lateral de adelantamiento entre la bicicleta y el vehículo, la velocidad de la bicicleta y su posición, la visión delantera y trasera.

Análisis de los datos

Se recogieron más de 1.300 maniobras en aproximadamente 80 h de vídeo grabadas durante el proceso de recolección de datos. De éstas, 1.151 interacciones fueron recogidas por las cámaras y el resto se perdieron, en su mayoría por falta de batería.

Para cada una de las 1.151 interacciones, se registraron los siguientes datos:

- Ubicación y dirección de desplazamiento.
- Estado de las carreteras, señalización vertical y horizontal.
- Estado de los arcenes (si están presentes, a fines de este estudio los arcenes pavimentados son considerados como carril para bicicletas).
- Velocidad y posición de la bicicleta.
- Vehículo: marca, modelo, velocidad estimada, posición en el carril.
- Distancia lateral entre la bicicleta y el vehículo.
- Cruce de la línea central, situaciones peligrosas y colisiones.
- Condiciones meteorológicas.
- Presencia de vehículo por el carril contrario.

En la Tabla 9 se observa la naturaleza de las 1.151 observaciones codificadas y analizadas.

Vehicle Type	Count	%
car	533	46.3%
SUV	300	26.1%
pickup	155	13.5%
minivan	98	8.5%
truck	24	2.1%
van	18	1.6%
vehicle w/trailer	13	1.1%
semi	6	0.5%
school bus	3	0.3%
motorcycle	1	0.1%
Total	1.151	100.0%

Tabla 9. Naturaleza de las observaciones, Chapman y Noyce (2012).

De estas observaciones, 789 (68.5%) se produjeron en las carreteras con carril bici/arcén pavimentado, mientras que las restantes 362 (31,5%) se produjeron en las carreteras sin carriles bici/arcén pavimentado.

La media de separación fue de 6,4 pies en carreteras con carril para bicicletas y de 6,3 para las que no tenían este carril.

Conclusiones

Se comprobó que los conductores no solían pasar cerca de los ciclistas ya que sólo en el 0,5 % de las maniobras observadas se dio esta circunstancia (6 de 1.151). Los conductores eran mucho más propensos a dar a los ciclistas más espacio del requerido, a riesgo de sobrepasar la línea central, incluso cuando las condiciones no eran las más seguras para hacerlo. Por último, los carriles bici o arcenes pavimentados afectaban directamente a la probabilidad de que un conductor cruzase la línea central, siendo mayor la posibilidad de invasión del carril contrario en carreteras sin este tipo de infraestructura.

De manera resumida:

- Las separaciones prácticamente se mantuvieron constantes, independientemente de que hubiese o no carril bici siendo la separación media de 6,4 pies con carril bici y 6,3 pies sin carril bici.
- En Wisconsin existe una norma según la cual hay que mantener, al menos, 3 pies de separación. Sólo en 6 observaciones se obtuvo una separación menor, entre 2 y 2,9 pies, Figura 19 y Figura 20.

Vehicle Type	Lateral Clearance (ft)	Bike Lane?	Road Grade	Opposing Vehicle?
car	2.42	Yes	level	No
vehicle w/trailer	2.75	No	level	No
SUV	2.67	No	uphill	No
car	2.17	No	downhill	Yes
car	2	No	uphill	No
SUV	2.92	No	level	Yes

Figura 19. Adelantamientos con separación inferior a 3 pies, Chapman y Noyce (2012).

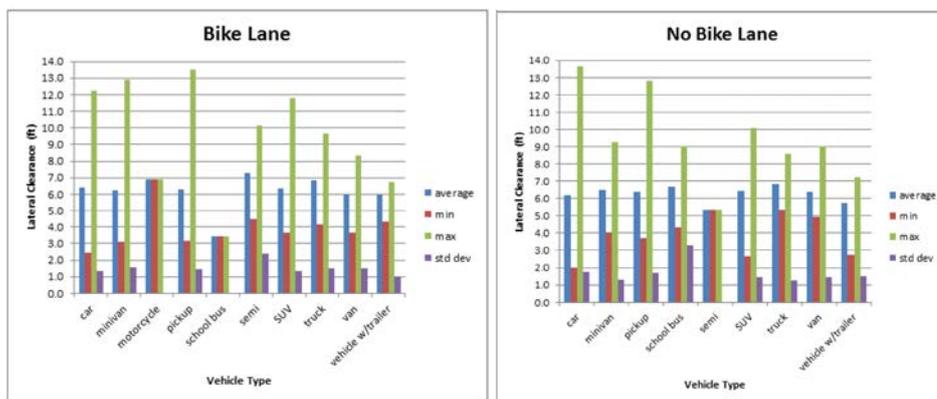


Figura 20. Separaciones por tipo de vehículo, Chapman y Noyce (2012).

- No se observaron colisiones.
- En la Tabla 10 se recoge el porcentaje de vehículos que invadieron el carril contrario con línea continua para adelantar a la bicicleta. En la primera columna aparece el porcentaje de “violaciones” respecto al total de la muestra, siendo los que más sobrepasaban la línea continua los turismos y todoterrenos. En la segunda columna, encontramos el porcentaje de “violaciones” por el tipo de vehículo. El 46% de los camiones invadían el carril contrario, mientras que el 24 % de los turismos lo hacían también.

Violation	Count	% of violations	% violations within vehicle type
car	129	45.9%	24.2%
SUV	66	23.5%	22.0%
pickup	49	17.4%	31.6%
minivan	19	6.8%	19.4%
truck	7	2.5%	29.2%
van	3	1.1%	16.7%
vehicle w/trailer	6	2.1%	46.2%
semi	2	0.7%	33.3%
school bus	0	0.0%	0.0%
motorcycle	0	0.0%	0.0%
Total	281	100.0%	

Tabla 10. Porcentaje de vehículos que invaden el carril contrario con línea continua para adelantar una bici, Chapman y Noyce (2012).

- En la Tabla 11 se recoge el porcentaje de vehículos que invadieron el carril contrario en función de si el arcén estaba pavimentado o si la rasante era en bajada, a nivel o en subida.

No Paved Shoulder	Count	% of subtotal	% of category
downhill	28	7.7%	
no violation	16		57.1%
violation	12		42.9%
level	235	64.9%	
no violation	146		62.1%
violation	89		37.9%
uphill	99	27.3%	
no violation	6		6.1%
violation	93		93.9%
Subtotal	362		
Paved Shoulder	Count	% of subtotal	% of category
downhill	96	12.2%	
no violation	90		93.8%

violation	6		6.3%
level	498	63.1%	
no violation	445		89.4%
violation	53		10.6%
uphill	195	24.7%	
no violation	167		85.6%
violation	28		14.4%
Subtotal	789		
Grand Total	1151		

Tabla 11. Porcentaje de vehículos que invaden el carril contrario, Chapman y Noyce (2012).

2.1.1.2.11 Savolainen et al. (2012)

Los autores evaluaron la disposición lateral de los vehículos durante los adelantamientos a ciclistas, centrándose en la influencia de las bandas sonoras de la línea central de la calzada y en arceles.

Localización del estudio

Este estudio se realizó en Míchigan, en la Michigan Highway 109 (M-109), una carretera de dos carriles en el noroeste de la Península y que disponía de un tramo con bandas sonoras en la línea central.

Se seleccionaron dos segmentos de 0,5 millas de longitud para realizar una comparación de la posición lateral de los vehículos en el momento del adelantamiento a ciclistas en tramos con bandas sonoras en la línea central y sin ellas. Ambos segmentos estaban separados por una distancia de, aproximadamente, 1,1 millas.

La carretera tenía una anchura de 11 pies de por carril y 4 pies de arcén, siendo su límite de velocidad 55 mph.

Metodología

Con el fin de evaluar la disposición lateral de los vehículos en el momento del adelantamiento a ciclistas, se montaron 4 cámaras sobre unos postes de 12 pies situados a ambos lados de cada tramo de estudio como muestra la Figura 22. Con estas cámaras se registraron una serie de videos que después fueron analizados para la posterior caracterización de variables. Las variables e hipótesis estudiadas en esta investigación fueron:

- La disposición lateral del ciclista: existen importantes diferencias entre los ciclistas que viajan más cerca o dentro del carril de circulación y los que viajan por el arcén como muestra la Figura 21.

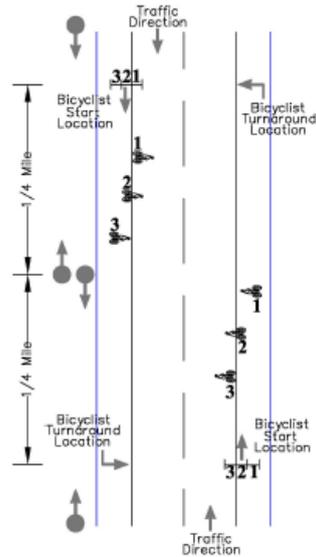


Figura 21. Posición del ciclista y cámaras en la vía, Savolainen et al. (2012).

- El número de ciclistas: los ciclistas que viajan en un grupo pueden ser más visibles o provocar una respuesta diferente a los automovilistas, que un ciclista circulando solo.
- Tipo de vehículo: los vehículos más grandes requieren más ancho de carril y, por lo tanto, tienden a ocupar más espacio del carril contrario al adelantar a un ciclista.
- Presencia de tráfico opuesto: si existe tráfico en el carril contrario, los vehículos de motor están obligados a permanecer parados, hasta que se dé la posibilidad de adelantar a los ciclistas, por lo que estos pueden producir aglomeraciones de vehículos parados y largas colas.



Figura 22. Instalación de cámaras, Savolainen et al. (2012).

Análisis de los datos

Durante el periodo de estudio, un total de 220 ciclistas viajaron por segmentos sin bandas sonoras centrales y 178 ciclistas por segmentos con bandas sonoras. Éstos representaron un tercio del volumen del total de bicicletas.

En el mismo período, un total de 1.136 vehículos de motor viajaron sin bandas sonoras y 1.216 con ellas.

TABLE 1. Vehicular and Bicycle Volume Data During Study Period at Each Location

Time Period	Without Centerline Rumble Strips		With Centerline Rumble Strips	
	Vehicular Volume	Bicycle Volume	Vehicular Volume	Bicycle Volume
Hour 1	160	35	196	35
Hour 2	225	52	227	39
Hour 3	253	59	269	47
Hour 4	249	30	276	19
Hour 5	249	44	248	38
TOTAL	1,136	220	1,216	178

Tabla 12. Tabla de vehículos y bicicletas en lugar de estudio, Savolainen et al. (2012).

La Tabla 12 representa los datos de vehículos y bicicletas en cada lugar durante el período de estudio.

Durante este mismo período de 5 horas, se observaron un total de 1.197 eventos. Un evento, en referencia a este estudio, se entiende por cualquier situación en la que un vehículo pasa a un ciclista dentro de cualquiera de los segmentos de estudio de 0,5 millas. Entre estos eventos el 52,3% se produjeron en un segmento sin bandas sonoras central y un 47,7 % con bandas sonoras.

Con estos datos se realizó un análisis estadístico. A continuación, se detallan algunos de los resultados de este análisis.

Las estadísticas se resumen en la Tabla 13, donde (w/o CLRS) indica los tramos sin bandas sonoras en la línea central y (W/CLRS) los tramos con banda sonora en la línea central.

1 TABLE 2. Summary Statistics for Vehicles Observed by Factor Levels

Factor	w/o CLRS		w/CLRS		Total	
	No.	%	No.	%	No.	%
Did the motor vehicle encounter a group of two or more bicyclists riding together?						
Yes	45	7.2%	18	3.2%	63	5.3%
No	584	92.8%	553	96.8%	1137	94.8%
TOTAL	629	100.0%	571	100.0%	1200	100.0%
Where was the leftmost bicyclist positioned when encountered by the motor vehicle?						
Outside Edge of Lane	139	22.1%	149	26.1%	288	24.0%
Inside Edge of Shoulder	197	31.3%	200	35.0%	397	33.1%
Center of Shoulder	293	46.6%	222	38.9%	515	42.9%
TOTAL	629	100.0%	571	100.0%	1200	100.0%
What type of motor vehicle was observed?						
Motorcycle	35	5.6%	25	4.4%	60	5.0%
Car	225	35.8%	214	37.5%	439	36.6%
SUV	227	36.1%	200	35.0%	427	35.6%
Van	92	14.7%	77	13.5%	169	14.1%
Pickup	39	6.3%	44	7.7%	83	6.9%
Larger Vehicle	11	1.7%	11	1.9%	22	1.8%
TOTAL	629	100.0%	571	100.0%	1200	100.0%
Was opposing traffic present?						
Yes	188	29.9%	140	24.5%	328	27.3%
No	441	70.1%	431	75.5%	872	72.7%
TOTAL	629	100.0%	571	100.0%	1200	100.0%
Did the motor vehicle make contact with the roadway centerline?						
Yes	485	77.5%	417	73.0%	902	75.4%
No	141	22.5%	154	27.0%	295	24.6%
TOTAL	626.0	100.0%	571.0	100.0%	1197	100.0%
Did the motor vehicle cross at least halfway into the opposing lane?						
Yes	141	22.4%	154	27.0%	295	24.6%
No	488	77.6%	417	73.0%	905	75.4%
TOTAL	629.0	100.0%	571.0	100.0%	1200	100.0%

Note: CLRS = centerline rumble strips

Tabla 13. Estadística en tramos sin bandas sonoras en línea central y con ellas, Savolainen et al. (2012).

Se observa que las probabilidades de que un vehículo cruce por medio del carril contrario aumentaban cuando existen bandas sonoras en la línea central.

La presencia de bandas sonoras en la central disminuye la probabilidad de que un vehículo a motor entre en contacto con la línea central en un 12,3%. Sin embargo, hay que señalar que este efecto es relativamente pequeño en comparación con otros factores, tales como la colocación lateral del ciclista, así como la existencia de tráfico opuesto en el momento de la maniobra de adelantamiento. En ausencia de los ciclistas, las invasiones de la línea central disminuyen un 54,4 % cuando las bandas sonoras centrales están presentes.

Conclusiones

- Los conductores eran menos propensos a contactar con la línea central cuando existen bandas sonoras en las líneas centrales. Estas reducciones fueron iguales en otros lugares donde los ciclistas no estaban presentes.
- Los conductores eran más propensos a pasar por encima o a través de la línea central cuando se encontraron con un grupo de ciclistas en lugar de con un solo ciclista.
- Los motoristas eran mucho menos propensos a cruzar la línea central que otros vehículos a motor.
- La presencia de vehículos en el sentido contrario reducía el contacto con la línea central.

2.1.1.2.12 Dozza y Werneke (2014)

En su estudio se plantearon exportar la técnica naturalista de recogida y el análisis de los datos utilizada en vehículos motorizados, tales como automóviles y camiones, al campo de la mejora de la seguridad de los ciclistas.

Localización del estudio

La toma de datos para este estudio se realizó (Figura 23) en la población y los alrededores de Gothenburg (Suecia), entre agosto y noviembre de 2012.



Figura 23. Localización del estudio, Dozza y Werneke (2014).

Metodología

Se recogieron datos de cinco bicicletas instrumentadas (Figura 24. Imágenes del instrumental instalado en la bicicleta, Dozza y Werneke (2014). que fueron utilizadas durante dos semanas por 16 ciclistas en sustitución de su propia bicicleta durante su actividad diaria, como ir al trabajo. Se planteó que realizaran un promedio de 40 minutos por día de lunes a viernes.

Todas las bicicletas estaban equipadas con luz frontal y trasera, reflectantes y timbre de acuerdo con la legislación sueca. En cada bicicleta se dispuso un dispositivo registrador para recoger de manera automática los datos de una cámara frontal de vídeo, dos unidades de medida inerciales, GPS, y dos sensores de fuerza de frenado (uno para cada rueda). Los ciclistas también señalaron, mediante un pulsador en el manillar, cada evento crítico que hiciese que se sintiesen incómodos sobre su seguridad.

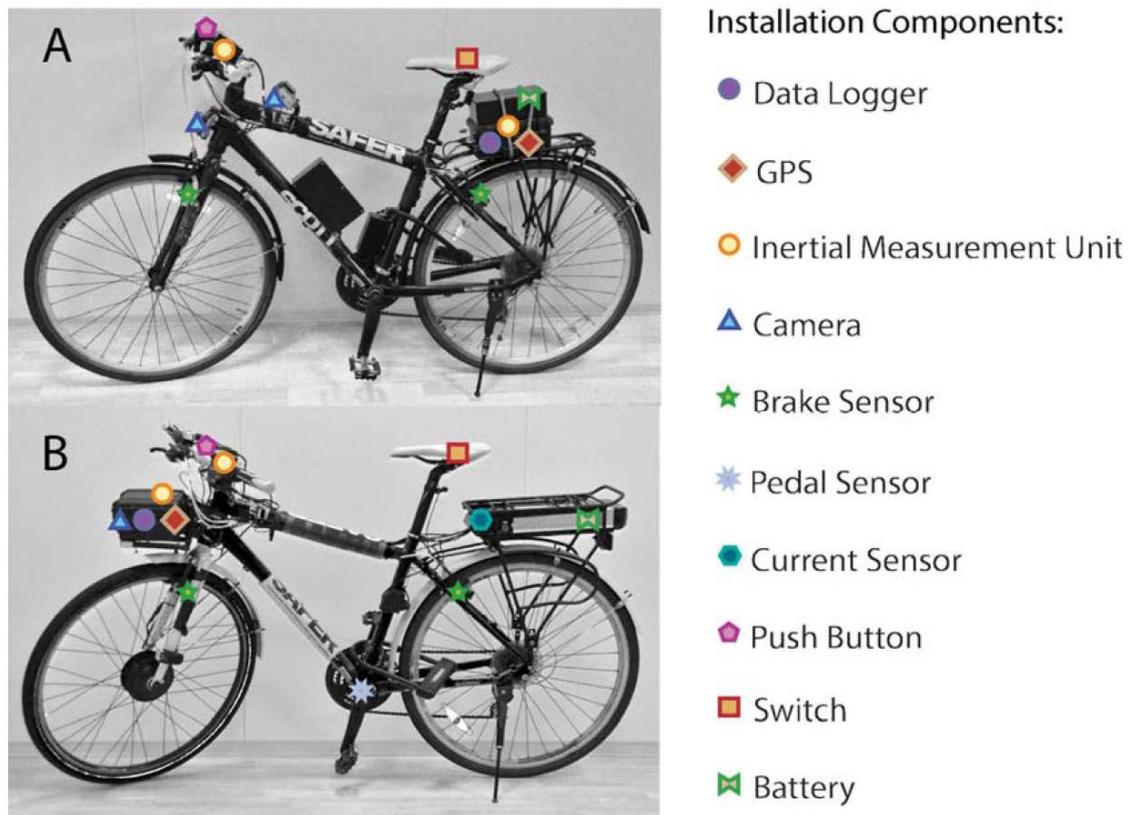


Figura 24. Imágenes del instrumental instalado en la bicicleta, Dozza y Werneke (2014).

Análisis de los datos

Los datos recogidos por las bicicletas se procesaron y se organizan en un sistema de ficheros con una estructura estándar de modo que se podrían utilizar herramientas previamente desarrolladas para la visualización y el análisis de los datos. Los datos de los sensores fueron filtrados para comprobar su calidad, interpolando en caso necesario, y sincronizado con el vídeo. Para el análisis de eventos críticos se utilizaron tres posibles identificadores: los eventos señalados a través del pulsador, la entrevista con el ciclista y las mediciones cinemáticas.

En total, 63 eventos críticos únicos fueron identificados a partir del conjunto de datos. La tipología de los incidentes puede verse en la Figura 25.

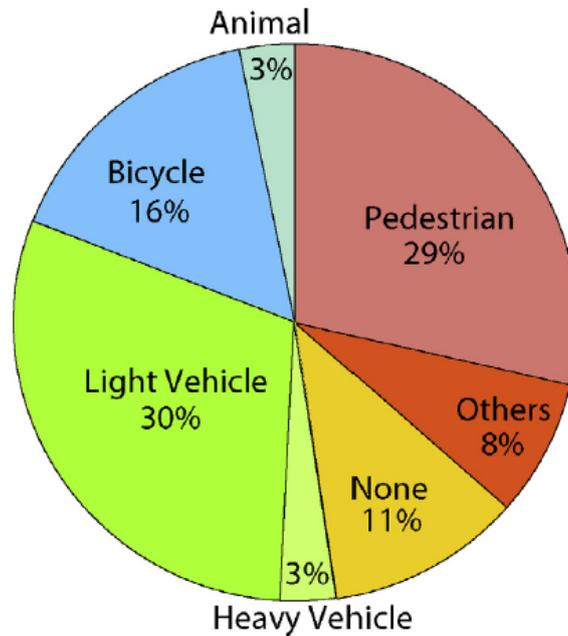


Figura 25. Tipología de incidentes registrados, Dozza y Werneke (2014).

Conclusiones

En el documento se muestra cómo a partir de la toma de datos naturalista se pueden detectar situaciones de riesgo para el ciclista. Los resultados muestran que circular con la bicicleta cerca de una intersección aumenta cuatro veces el riesgo de sufrir un evento crítico, y doce veces en los casos en los que la intersección presenta algún tipo de obstáculo visual (por ejemplo, edificios o plantaciones). El mal mantenimiento de la carretera aumenta el riesgo diez veces. Además, el riesgo de sufrir un evento crítico fue dos veces mayor cuando al menos un peatón u otro ciclista cruzaron la trayectoria del ciclista. Este estudio también pone de manifiesto dos escenarios de eventos críticos potencialmente asociados con dos tipos de accidentes de bicicleta diferentes. Concretamente, los accidentes de bicicletas únicas y los accidentes con vehículos motorizados en las intersecciones. Estos dos escenarios parecen originarse a partir de diferentes situaciones y mecanismos, y requieren diferentes medidas preventivas. Finalmente, se plantea que las actuaciones que abordan mejoras en los entornos de las intersecciones tienen el impacto potencial más alto para la seguridad.

2.1.1.2.13 Dozza et al. (2015)

En su artículo se analizaron las maniobras de adelantamiento a ciclistas por parte de los vehículos en carretas rurales mediante la utilización de una bicicleta instrumentada. Se buscó determinar las zonas de confort durante la maniobra por parte de los vehículos.

Localización del estudio

La toma de datos para este estudio se realizó en carretas rurales en los alrededores de las poblaciones de Göteborg y Vårgårda (Suecia). Se recorrieron 51,0 km en la primera de ellas y 33,6 km en la segunda. Las salidas se realizaron en abril de 2015 y se desarrollaron en carretas rurales con anchos de carril en general inferiores a 3,5 m y arcenes iguales o inferiores a 1 m.

Metodología

Se utilizó una bicicleta eléctrica (Figura 26) equipada con un dispositivo LIDAR, un GPS y dos cámaras con el fin de analizar la maniobra de aproximación y adelantamiento..

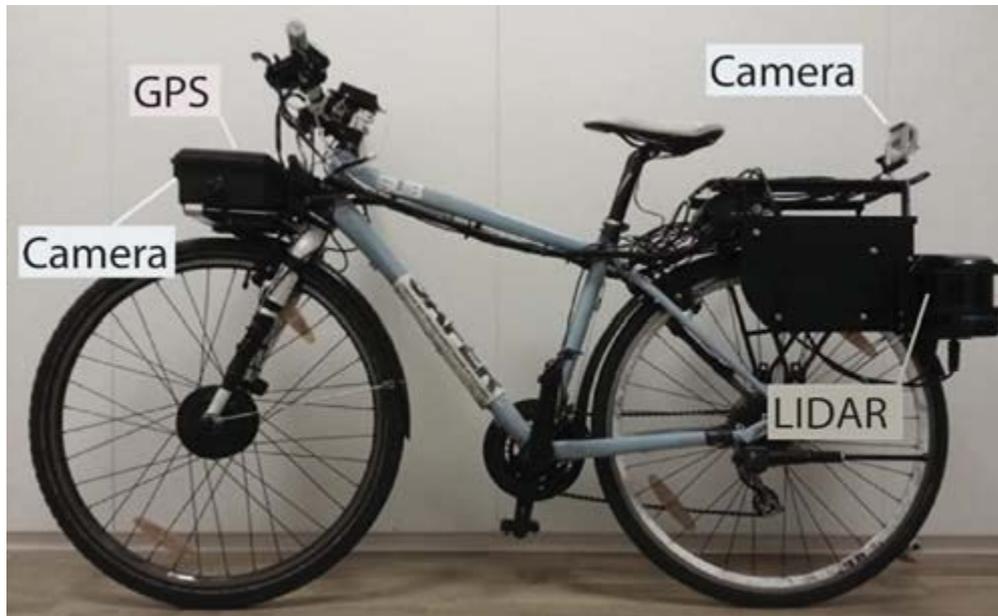


Figura 26. Instrumentación de la bicicleta, Dozza et al. (2015).

Previamente a las salidas se realizó un tramo de prueba con el fin de determinar la posición más adecuada para el dispositivo LIDAR, bien trasera centrada, menos visible, o bien trasera lateral, más visible pero más efectiva. Tras su realización se concluyó la no relevancia de ese aspecto, colocándose lateralmente en el montaje definitivo.

Análisis de datos

Después de la recogida de datos, todas las maniobras de adelantamiento registradas fueron revisadas con el fin de delimitar las fases del adelantamiento, determinar las zonas de confort de los vehículos y para registrar una serie de variables tales como el tipo de vehículo (automóvil, camión, autobús, camioneta, vehículo con remolque), tipo de adelantamiento (constante, acelerado o en cola para separaciones inferiores a 60 m, 2 s aprox.), presencia de tráfico en sentido contrario, tipo de línea central (continua, discontinua, advertencia) y el tramo de carretera.

El dispositivo LIDAR se utilizó para identificar las cuatro fases de las maniobras de adelantamiento (Figura 27) establecidas en el estudio. Concretamente, aproximación, inicio de la maniobra, adelantamiento en paralelo y retorno al carril.

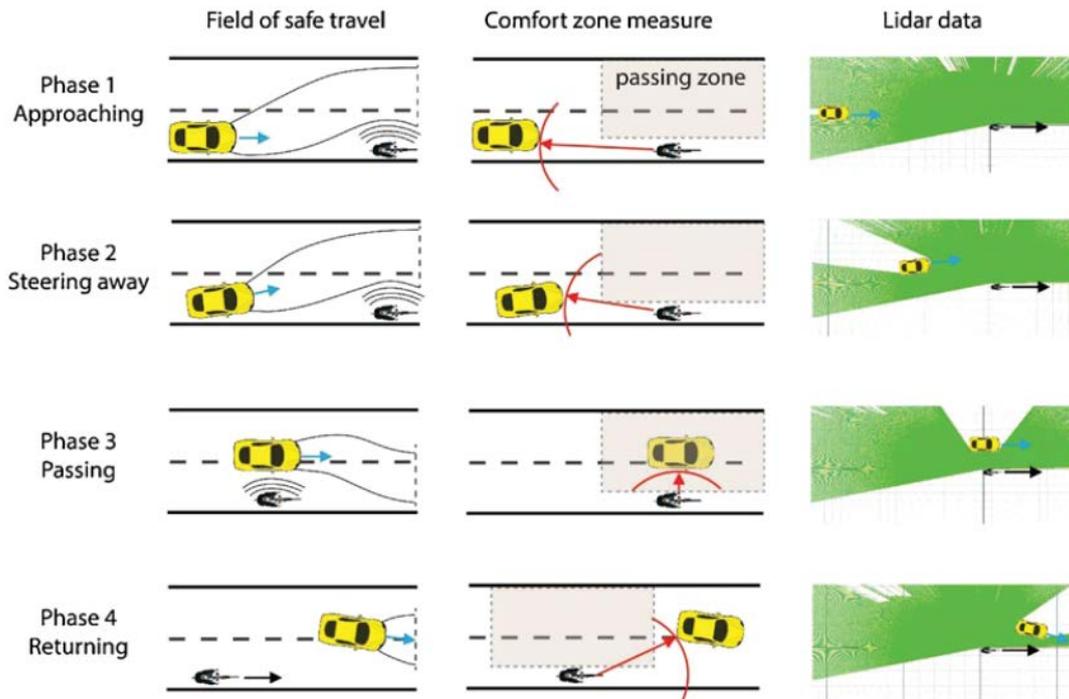


Figura 27. Fases de la maniobra de adelantamiento, Dozza et al. (2015).

La fase de aproximación comenzó cuando el vehículo que adelanta entró en el campo de vista LIDAR, de forma que sólo la parte delantera del vehículo apareció en los datos LIDAR. Cuando el lateral del vehículo se hace visible, marca el final de la fase de aproximación, ya que representa el inicio de la maniobra de adelantamiento, dejando de estar en riesgo de colisión con el ciclista.

Debido a la relativamente lenta velocidad de muestreo del dispositivo LIDAR, los momentos exactos en que el vehículo entró y salió de la zona paralela de adelantamiento rara vez eran capturados. Con el fin de mejorar las estimaciones de inicio y el final de esta fase de paso, se realizó una interpolación lineal de la trayectoria del vehículo entre los dos puntos antes y después del punto de entrada y los de antes y después del punto de salida. Para codificar el tráfico opuesto, se tuvo en cuenta la posible presencia de vehículos en el carril contrario en una zona de que se extiende desde 20 metros tras la bicicleta a 120 m por delante.

Las maniobras de vehículos en cola, las que eran claramente influenciadas por circunstancias inusuales (por ejemplo, baches, coches aparcados, intersecciones, otros ciclistas presentes...), y las maniobras realizadas por la conducción de vehículos escolares, fueron excluidas de los análisis.

De esta forma, finalmente se seleccionaron 145 maniobras de adelantamiento realizadas por los conductores de automóviles y camiones.

Conclusiones

Los datos recogidos permitieron identificar cuatro fases de adelantamiento y cuantificar las correspondientes zonas de la comodidad del conductor (Figura 28). La presencia de un vehículo en sentido contrario fue el factor que más influyó en la maniobra, mientras que ni la velocidad

del vehículo, el ancho del carril, el ancho de los arcenes ni el límite de velocidad afectó significativamente la zona de confort del conductor o la dinámica de adelantamiento.

Durante la maniobra, los conductores regularon la velocidad y la posición lateral, adaptándose a la posible presencia de tráfico en sentido contrario, permaneciendo dentro de sus zonas de confort mientras se aproximaban y pasaban a los ciclistas.

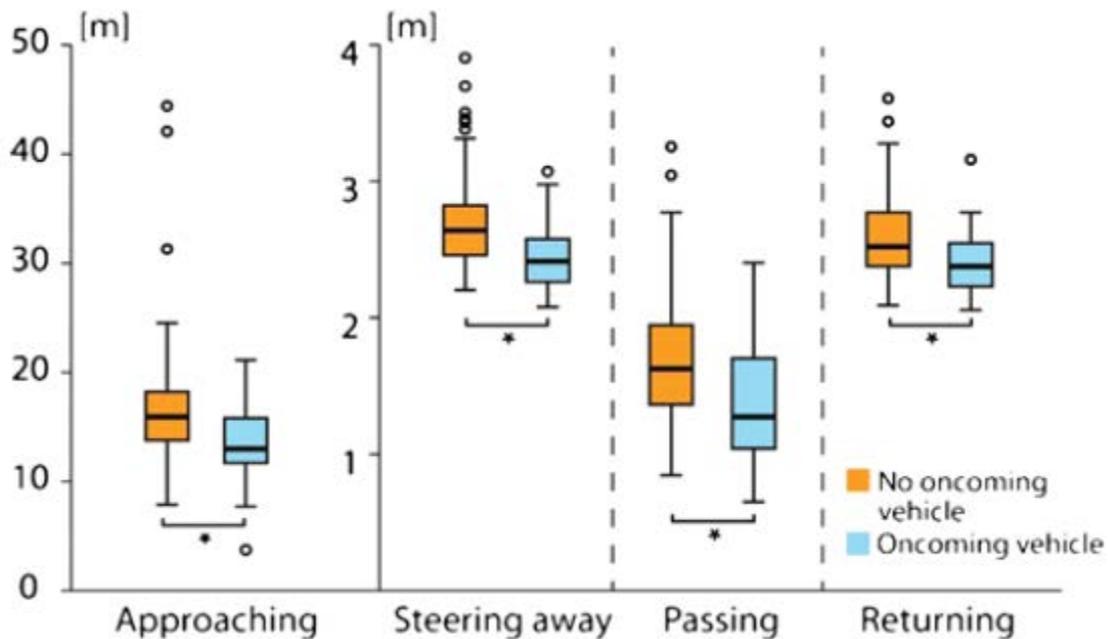


Figura 28. Zonas de confort, Dozza et al. (2015).

De forma general, los adelantamientos se producían a alta velocidad (aprox. 70 km/h), en un corto período de tiempo (10-16 s) y con poco tiempo para evitar una colisión (menos de 2 s) si se producen acontecimientos imprevistos.

Cuando se aproximaba un vehículo, los conductores cambiaban su zona de confort, conduciendo significativamente más cerca del ciclista no sólo al pasar junto a él, sino también cuando se aproximaban y alejaba del mismo.

La zona de confort del conductor estaba también influida por la visibilidad, pero no por la velocidad del vehículo. Este último resultado demuestra que para los conductores y ciclistas podían ser diferentes (un ciclista podría esperar una mayor separación cuando es adelantado con más rapidez).

El tiempo de colisión se analizó también como factor crítico. Se detectó que, de media, los conductores se desviaban de la ruta de colisión con el ciclista unos 16 m antes, lo que corresponde a un tiempo medio a la colisión de aproximadamente 1,6 s, lo cual es crítico en situaciones normales de conducción. El tiempo hasta colisión fue, en promedio, 0,6 s mayor para los camiones que para los coches.

La separación lateral fue mayor en las maniobras con aceleración, posiblemente porque los conductores que tenían zonas de confort más grandes también eran más propensos a reducir la velocidad antes de adelantar, sobre todo si había tráfico en sentido contrario. Sin embargo, la presencia de tráfico opuesto no impidió que se realizasen los adelantamientos. Por el contrario, varias maniobras de adelantamiento se realizaron con tráfico opuesto, obteniéndose zonas de confort más estrechas en todas las fases, por lo que estas maniobras de adelantamiento se mostraron como las más críticas, al menos desde el punto de vista de un ciclista. Con tráfico opuesto, los conductores adelantaron a menudo con una separación lateral mínima de 1,5 m o, incluso, menor de 1 m en algunos casos.

La presencia de una línea de advertencia para indicar las zonas con menor visibilidad se tradujo en un aumento de la zona de confort sólo en la fase de aproximación. La disminución de la visibilidad afectaría únicamente, por tanto, al tiempo de decisión y planificación del adelantamiento, que tienen lugar en la fase de aproximación.

Finalmente, contrariamente a lo que podría parecer, el ancho de carril o de arcén, el límite de velocidad y la velocidad del vehículo no influyeron en la zona de confort.

2.1.1.2.14 Mehta (2015)

En su tesis doctoral se centró, principalmente, en analizar la separación durante el adelantamiento en arterias urbanas y cuantificar la influencia que los parámetros geométricos y del tráfico tienen en esa separación.

Localización del estudio.

Los datos fueron tomados en Ontario (Figura 29) entre el 18 de junio de 2013 y el 3 de septiembre de 2013 en cuatro tipos de carreteras:

- carretera de 2 carriles sin carril para bicicletas (2 LNB)
- carretera de 2 carriles con carril bici (2LWB)
- carretera de 4 carriles sin carril bici (4LNB)
- carretera de 4 carriles con carril bici (4LWB)

La duración de cada sesión de recolección de datos fue de entre 12 y 86 minutos. Los datos se recogieron durante diferentes momentos del día para incluir una amplia gama de condiciones de tráfico. La duración total de sesiones de recogida de datos fue de 27 horas y 19 minutos durante el cual se registraron 5.227 adelantamientos.

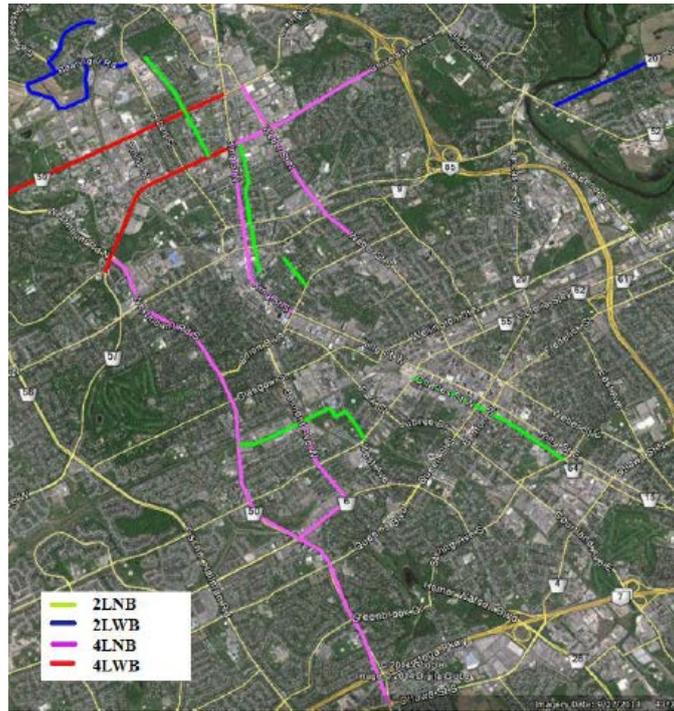


Figura 29. Localización de las pruebas, Mehta (2015).

Metodología.

Par la recogida de datos se utilizó una bicicleta instrumentada (Figura 30) con una cámara de vídeo, un GPS y un distanciómetro tipo sensor ultrasónico.

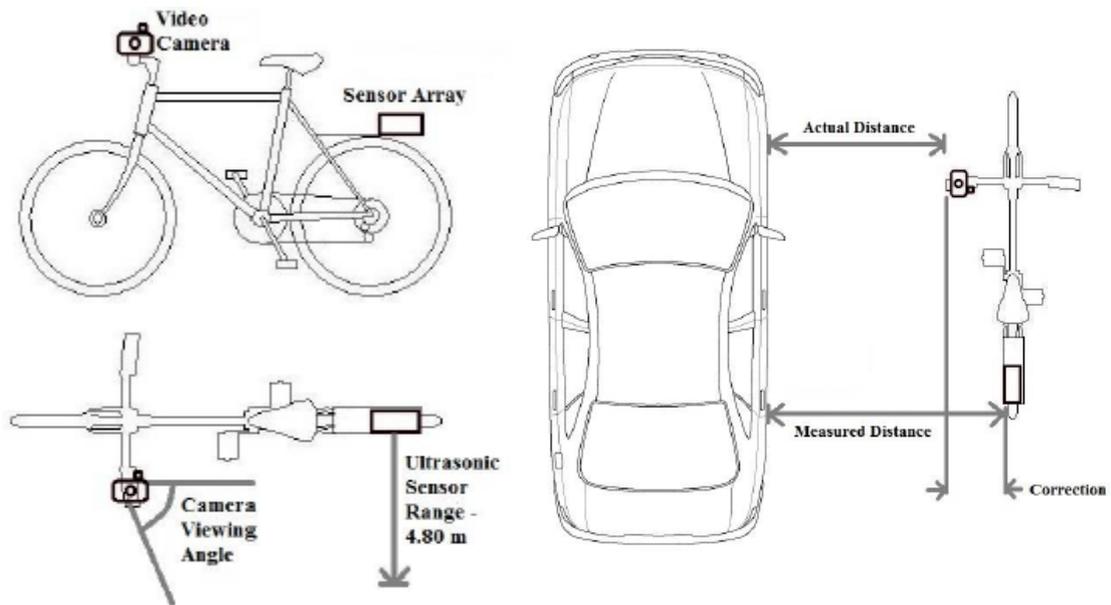


Figura 30. Sistema de instrumentación, Mehta (2015).

Para cada adelantamiento se obtuvieron el momento y lugar mediante el GPS y las separaciones durante la maniobra fueron obtenidos mediante el sensor ultrasónico.

La velocidad durante el adelantamiento se estimó de manera indirecta utilizando una longitud promedio de los vehículos de 5,16 m y el tiempo de ocupación del sensor de ultrasonidos para la maniobra de adelantamiento. Igualmente, se estimó la invasión del carril adyacente en base a la separación medida y una anchura media de vehículo.

Se analizó la separación durante el adelantamiento (Figura 31) en función de la posibilidad de maniobra según el tráfico en el segundo carril en carreteras 2+2 sin carriles para bicicletas.

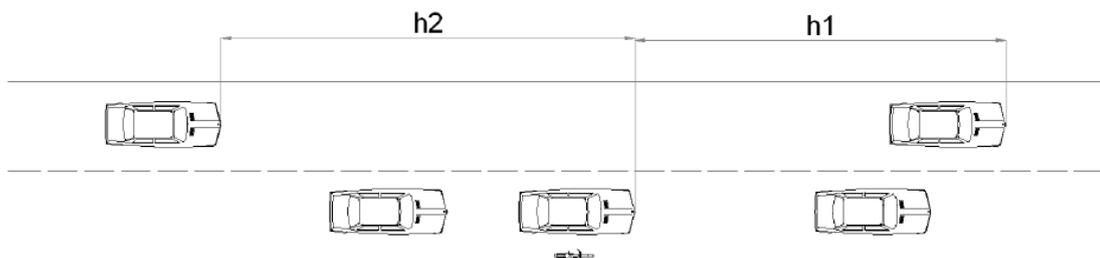


Figure 27: Evaluation of Time Headways for Determining Passing Restrictions

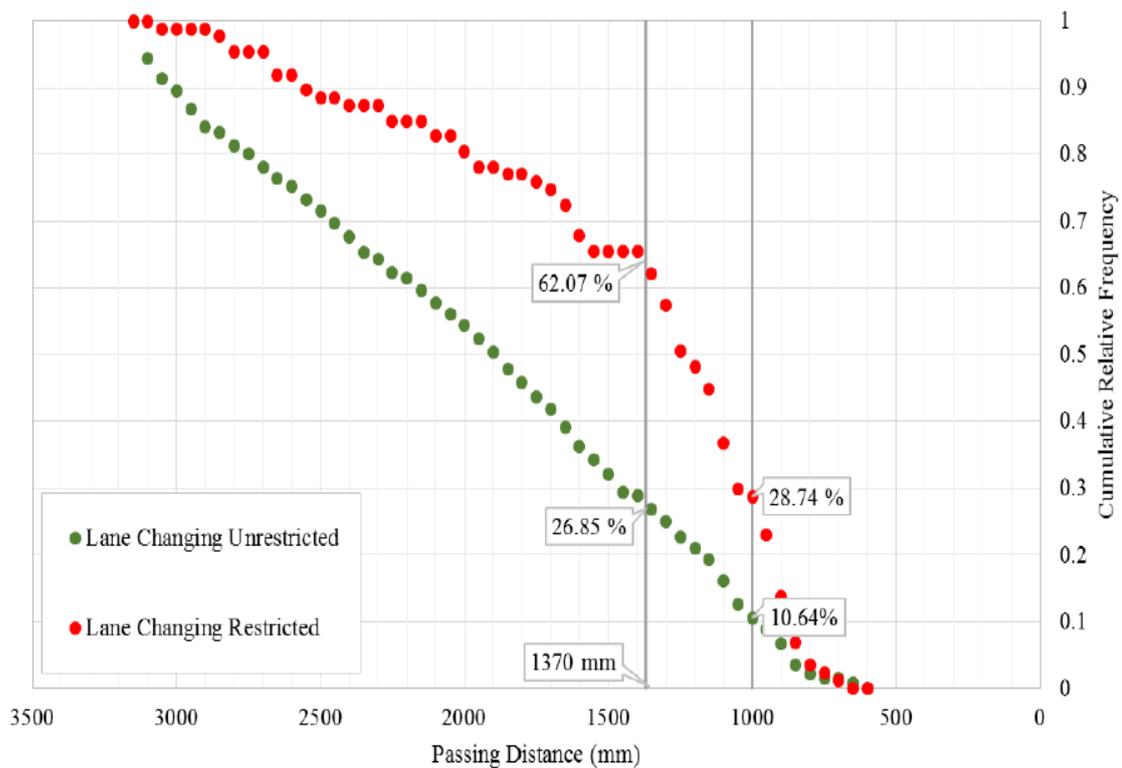


Figura 31. Separación durante el adelantamiento, Mehta (2015).

Adicionalmente, se desarrolló un modelo para estimar la probabilidad de adelantamientos peligrosos en carreteras de 4 carriles con cruces a nivel y sin carriles bici para unas condiciones de tráfico dados utilizando el software de simulación VISSIM.

Conclusiones

Tras el análisis de los datos obtenidos se llegó a algunas conclusiones como:

- Se encontró que la separación lateral entre los ciclistas y los vehículos era significativamente más pequeña en las vías sin carriles bici exclusivos.
- Se constató que en las carreteras sin carriles bici muchos conductores trataban de mantener una mayor distancia durante el adelantamiento invadiendo el carril adyacente.
- La capacidad de los conductores para invadir o cambiar de carril se determinaba por la proximidad de los vehículos en el carril adyacente.
- La proporción de adelantamientos inseguros fue mayor para tráficos mayores en comparación a secciones con menores volúmenes de tráfico. Igualmente, la proporción de adelantamientos inseguros fue más alto en secciones estrechas frente a las más amplias.

2.1.1.2.15 N.Z. Transport Agency (2016)

Dentro de una investigación más amplia destinada a determinar la posibilidad de imponer legalmente una separación mínima durante la maniobra de adelantamiento en Nueva Zelanda (1 m en zonas urbanas y 1,50 m en interurbanas), se ha desarrollado una campaña de recogida de datos sobre maniobras de adelantamiento a ciclistas utilizando bicicletas instrumentadas.

Localización del estudio

El estudio se desarrolló a lo largo de una serie de rutas rurales y urbanas durante un período de ocho semanas, recopilándose un total de 1.429 maniobras en carreteras rurales y 4.319 en urbanas, con más de 68 horas de tiempo total de conducción.

Las localizaciones seleccionadas finales (Figura 32) fueron situadas en la región de Greater Wellington. Las pruebas en tramos urbanos se realizaron dentro del área metropolitana de Wellington, mientras que las pruebas en carreteras rurales tuvieron lugar en la circunscripción de Wairarapa.

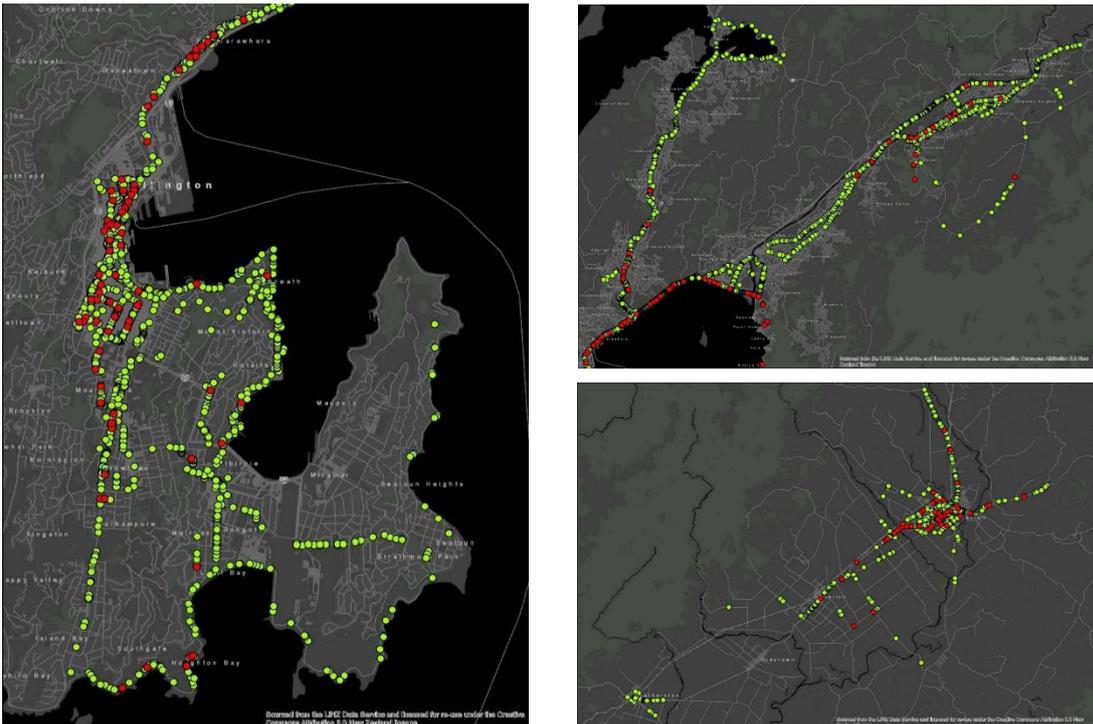


Figura 32. Localizaciones de los adelantamientos durante las salidas, N.Z. Transport Agency (2016).

Metodología

Se utilizó la metodología de la bicicleta instrumentada (Figura 33) para capturar la información durante los adelantamientos, empleándose a 48 participantes seleccionados (con diferentes grados de experiencia de conducción).



Figura 33. Instrumentación de la bicicleta, N.Z. Transport Agency (2016).

La bicicleta estaba dotada de 2 dispositivos Lidar para medir la separación y la velocidad durante la maniobra, cámara de vídeo, GPS, velocímetro, ordenador, batería, acelerómetro y giroscopio. Igualmente, disponía de un pulsador para que el ciclista, en base a la mayor o menor duración de la pulsación, marcara su mayor o menor percepción de riesgo durante la maniobra sufrida.

Conclusiones

Las separaciones mínimas y medias registradas (Tabla 14) fueron ligeramente mayores en las carreteras rurales comparadas con las urbanas.

	Overtaking gap (m)		
	All recorded observations	Observations on urban roads (60km/h and below)	Observations on major arterials and rural roads (70km/h and above)
Minimum (m)	0.34	0.34	0.65
5 th Percentile (m)	1.24	1.23	1.40
10 th Percentile (m)	1.40	1.40	1.56
20 th Percentile (m)	1.61	1.59	1.75
Median (m)	2.05	2.02	2.19
Maximum (m)	4.68	4.68	4.66

Tabla 14. Separaciones y percentiles, N.Z. Transport Agency (2016).

Relativamente pocas de las maniobras de adelantamiento registradas generaron separaciones inferiores a 1,00 m en tramos urbanos y 1,50 m en tramos interurbanos (Tabla 15).

Overtaking Gap (m)	All recorded observations		Urban roads (60km/h and below)		Major arterials and rural roads (70km/h and above)	
	Count	Percentage	Count	Percentage	Count	Percentage
0.00 – 0.49	7	0.1%	4	0.1%	0	0.0%
0.50 – 0.99	78	1.4%	57	1.6%	7	0.6%
1.00 – 1.49	685	12.7%	483	13.6%	78	6.6%
1.50 – 1.99	1749	32.4%	1195	33.6%	346	29.3%
2.00+	2882	53.4%	1818	51.1%	750	63.5%

Tabla 15. Rangos de separaciones según tipo de carretera, N.Z. Transport Agency (2016).

Respecto a las maniobras incómodas para el ciclista, el 86,6 % de éstas estuvieron relacionadas con los adelantamientos y cambios de carril de vehículos.

Por lo que hace referencia a la influencia de la anchura de arcén, en general, la separación media en las carreteras urbanas fue inferior para los tramos con arcén estricto, cerca de 1,3 m, en comparación con la separación de 1,5 m con arcén amplio. En arterias principales y carreteras rurales, los datos han sido demasiado limitados para hacer una evaluación sobre su incidencia.

Finalmente, respecto a la aceptación, esta aumentó a medida que aumentaba la separación durante el adelantamiento. En las carreteras urbanas hay evidencia de baja aceptación para separaciones bajas, menos de 0,50 m, aunque el número de adelantamientos observados en este rango más bajo fue muy pequeño. Destaca la pequeña cantidad de eventos marcados como

incómodos para separaciones entre 0.5m y 0.99m. En carreteras rurales los ciclistas se mostraron relativamente cómodos para separaciones superiores a 1 m. En comparación con el grupo de estudio en general, los ciclistas principiantes mostraron una menor aceptación de las separaciones de adelantamiento inferiores a 1 m, aunque se debe tener cuidado al interpretar esta información debido al número relativamente bajo de movimientos de adelantamiento observados a esta distancia. En el caso de carreteras rurales no se recogieron datos suficientes para establecer conclusiones.

2.1.1.2.16 Bella y Silvestri (2017)

En su investigación emplean un simulador de conducción para analizar los efectos sobre el comportamiento del conductor durante la interacción con un ciclista de tres secciones transversales de una carretera convencional rural de dos carriles combinadas con cuatro elementos geométricos.

Metodología

El diseño de la carretera, de unos 11 km de longitud, fue implementado en un simulador de conducción interactivo avanzado. El trazado en planta se dispuso con curvas de radio entre 200 m y 600 m, mientras que para el trazado en recta se utilizaron alineaciones con longitudes entre los 150 m y 650 m. Se probaron tres secciones transversales diferentes (Figura 34), todas con el mismo ancho total, pero con y sin un carril bici delimitado en la zona de arcén. Concretamente, se partió de una sección transversal base, sin delimitación de carril bici, de 9 m de anchura, con carriles de 3,50 m y arcenes de 1,00 m. A partir de ella, se conformaron dos secciones transversales adicionales con delimitación de carril bici para el arcén mediante marca vial amarilla adosada a la blanca de arcén. En la primera de ellas el ancho del carril bici, coincidente con el arcén, se estableció en 1,50 m y el del carril para vehículos en 3,00 m. En la segunda, el ancho del carril bici se estableció en 1,75 m y el del carril para vehículos en 2,75 m.



Figura 34. Secciones transversales modelizadas, Bella y Silvestri (2017).

La velocidad de circulación para el vehículo se fijó en 90 km/h, mientras que para el ciclista se estableció en 20 km/h. En las tres secciones el ciclista circulaba a 75 cm del borde exterior del arcén. La anchura del vehículo modelizado era de 1,60 m.

Se modelizó tráfico opuesto para simular la conducción real y evitar también la posible tendencia a ocupar el carril contrario durante la conducción. Las características del tráfico opuesto fueron de 280 v/h, con un 5% de vehículos pesados, y una velocidad de 70 km/h. No obstante, la simulación de conducción fue diseñada de tal manera que, a lo largo de las secciones donde se produjeron las interacciones entre conductor y ciclista, no existiese tráfico en sentido contrario.

A lo largo del trazado se establecieron cuatro posibles adelantamientos, con dos combinaciones posibles, localizados en una curva a derecha de radio 200 m, una curva a izquierda también de 200 m de radio, una alineación recta de 450 m de longitud y otra de 650 m.

Participaron 40 conductores, 24 hombres y 16 mujeres, de edades entre 23 y 62 años que realizaron tres sesiones de conducción, una para cada alineación de carretera con las 3 diferentes secciones transversales. En total, se recogieron 468 perfiles de velocidad y 468 perfiles de posición lateral para obtener las variables descriptivas de la maniobra de adelantamiento (Figura 35).

Concretamente, se determinaron la posición respecto al eje de la carretera y la separación entre el lateral del vehículo y el extremo del manillar en el momento del adelantamiento, la separación media respecto al eje durante la maniobra, la velocidad en el momento del adelantamiento y la velocidad media durante la maniobra.

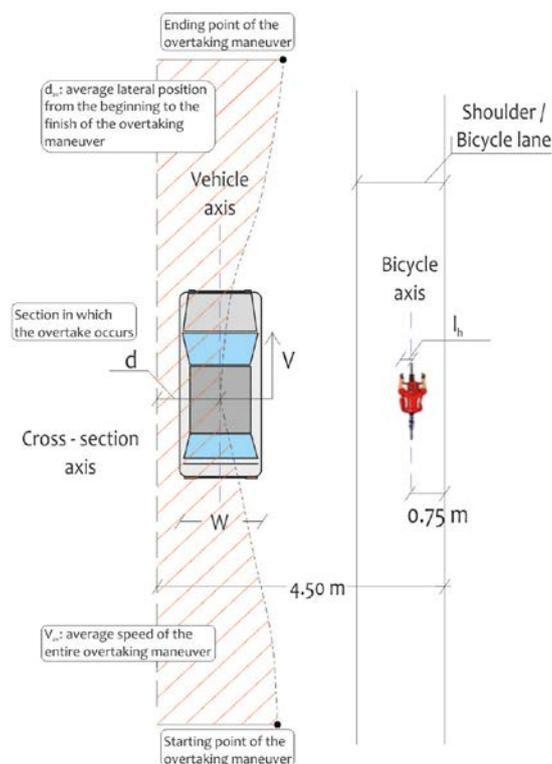


Figura 35. Parámetros de referencia, Bella y Silvestri (2017).

Conclusiones

La influencia de las secciones transversales, los elementos geométricos y las condiciones del tráfico en bicicleta sobre el comportamiento del conductor se evaluaron mediante un análisis de varianza multivariante.

La presencia o no de ciclista se mostró como variable significativa sobre la separación lateral, no así sobre la velocidad. También la sección transversal se manifestó como una variable significativa respecto a la separación durante el adelantamiento, aunque no sobre la velocidad.

Descriptive statistics.

Cross-section	Cyclist condition	Geometric element	Lateral clearance [m]	d [m]		d _{av} [m]		V [m/s]		V _{av} [m/s]	
			Average	Average	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD
Baseline	Present	Right curve	1.28	1.47	0.44	1.84	0.26	23.58	3.02	24.11	2.71
		Left curve	1.66	1.09	0.59	1.83	0.28	25.52	3.06	25.58	2.66
		Tangent L= 450 m	1.15	1.60	0.36	1.85	0.27	27.01	1.77	26.99	1.71
	Absent	Tangent L= 650 m	1.10	1.65	0.44	1.87	0.32	27.23	3.14	27.22	3.05
		Right curve	0.42	2.33	0.49	2.29	0.37	24.74	3.09	24.79	3.03
		Left curve	0.96	1.79	0.55	1.91	0.29	24.93	2.75	25.20	2.60
Countermeasure 1 (bicycle lane= 1.5 m)	Present	Tangent L= 450 m	0.58	2.17	0.34	2.17	0.33	26.91	2.04	26.89	1.99
		Tangent L= 650 m	0.51	2.24	0.29	2.22	0.26	27.22	1.80	27.22	1.74
		Right curve	1.26	1.49	0.38	1.74	0.21	23.63	3.05	24.29	2.59
	Absent	Left curve	1.65	1.10	0.27	1.70	0.24	24.96	3.16	25.36	2.83
		Tangent L= 450 m	1.17	1.58	0.25	1.65	0.25	26.97	2.20	26.97	2.21
		Tangent L= 650 m	1.11	1.64	0.29	1.76	0.21	26.93	1.90	27.01	1.80
Countermeasure 2 (bicycle lane= 1.75 m)	Present	Right curve	0.83	1.92	0.40	1.96	0.30	24.82	3.23	24.81	3.04
		Left curve	1.19	1.56	0.32	1.71	0.19	24.03	4.83	24.93	2.56
		Tangent L= 450 m	0.39	2.36	0.22	1.99	0.21	26.93	2.44	26.89	2.44
	Absent	Tangent L= 650 m	0.70	2.05	0.19	2.01	0.20	27.09	1.98	27.09	1.97
		Right curve	1.24	1.51	0.36	1.66	0.20	23.49	2.87	24.12	2.63
		Left curve	1.74	1.01	0.42	1.58	0.35	24.35	3.58	24.30	5.10
	Present	Tangent L= 450 m	1.21	1.54	0.22	1.66	0.20	26.82	2.24	26.72	2.09
		Tangent L= 650 m	1.11	1.64	0.25	1.71	0.22	26.95	2.13	27.06	2.08
		Right curve	0.93	1.82	0.36	1.86	0.25	24.46	3.30	24.49	3.16
	Absent	Left curve	1.20	1.55	0.41	1.70	0.22	24.09	2.86	24.31	2.76
		Tangent L= 450 m	0.89	1.86	0.30	1.87	0.28	25.88	2.82	25.88	2.79
		Tangent L= 650 m	0.84	1.91	0.23	1.90	0.23	27.60	2.51	27.57	2.48

Tabla 16. Separaciones obtenidas, Bella y Silvestri (2017).

De los datos obtenidos (Tabla 16) se desprende que un carril bici más ancho da lugar a una mayor separación durante el adelantamiento. Respecto al trazado en planta, en rectas se registraron las separaciones laterales más bajas, no observándose reducción de velocidad en comparación con la situación de ausencia de ciclista. En la curva a izquierda se registró la mayor separación lateral debido a la tendencia del conductor a alejarse del ciclista y cortar la curva. Esto determinó un desplazamiento excesivo y arriesgado del vehículo hacia el carril opuesto, cuya criticidad también fue subrayada por la alta velocidad adoptada por el conductor. En la curva a derecha, la separación lateral fue mayor que la registrada en las rectas debido probablemente, a la necesidad del conductor de realizar una maniobra de tracción más exigente en la curva derecha, la cual también determinó una reducción de la velocidad en comparación con la condición de ausencia de ciclista.

Las conclusiones de la investigación ponen de manifiesto que la anchura del carril para vehículos afecta la posición lateral adoptada por el conductor, induciéndole a elegir una trayectoria más próxima al eje del carril cuanto más estrecho es éste. Sin embargo, la anchura del carril del vehículo no afecta a la velocidad del conductor.

2.1.2 Sobre efectos aerodinámicos durante el adelantamiento

Se ha revisado también la bibliografía disponible en busca de aportaciones en relación con los efectos aerodinámicos generados durante la maniobra de adelantamiento ya que éstos pueden tener una especial incidencia sobre la estabilidad y, por tanto, sobre la seguridad del ciclista como sujeto más frágil de la maniobra.

2.1.2.1 USDOT FHWA (1977)

El U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (USDOT FHWA), en su publicación "A Bikeway Criteria Digest. The ABCD'S of Bikeways", a parte de otros criterios sobre diseños de carriles bici, se incluía una correlación entre la velocidad de adelantamiento de

camiones y la fuerza aerodinámica generada sobre un ciclista en función de la separación sobre éste (Figura 36). Este criterio, a la vista de la bibliografía analizada, ha seguido incorporándose durante años, hasta la actualidad, como referencia a nivel de la interacción entre vehículos pesados y ciclistas tanto por esa administración como por otras.

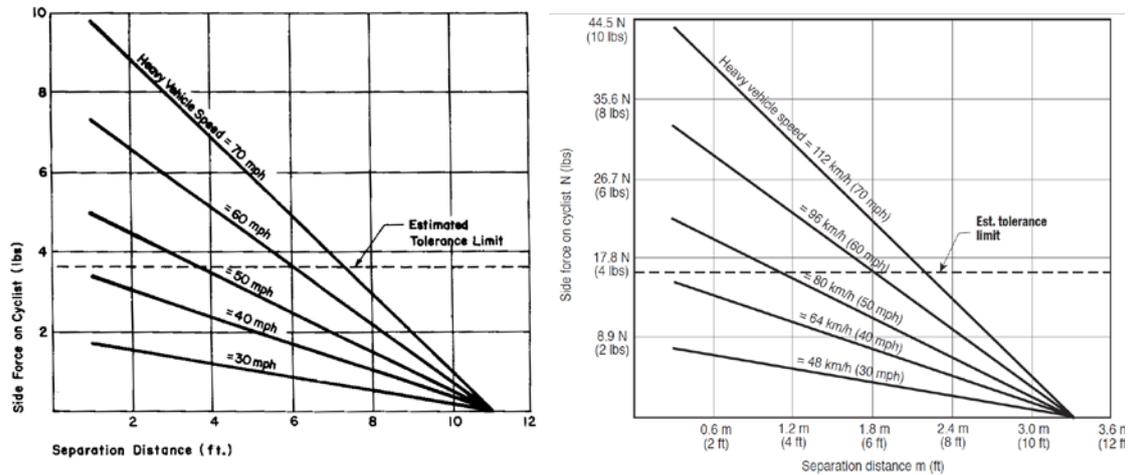


Figura 36. Fuerzas generadas sobre el ciclista, USDOT FHWA (1977).

En esta correlación se marcaba el límite admisible de la fuerza lateral sobre un ciclista en el entorno de 3,7 lb, unos 16,5 N. Éste sería el efecto generado por un camión adelantando al ciclista a una velocidad de 96 km/h a una distancia de 1,80 m. Igualmente, si atendemos a esta referencia, a partir de una separación aproximada de 3,3 m (11 pies) dejaría de tener efecto sobre el ciclista la maniobra de adelantamiento. No ha podido encontrarse el origen de esta correlación.

2.1.2.2 Kato et al. (1981)

En su investigación se analizaron los efectos aerodinámicos generados durante el adelantamiento de un vehículo a un ciclista mediante un modelo reducido de laboratorio.

Metodología

En una nave de ensayo (Figura 37) se instaló una pista de 36 m de longitud y 0,11 m de anchura. Sobre ella deslizaba una plataforma impulsada por una “catapulta”. El modelo se diseñó a escala 1:6.

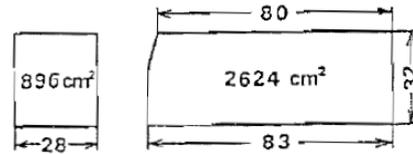
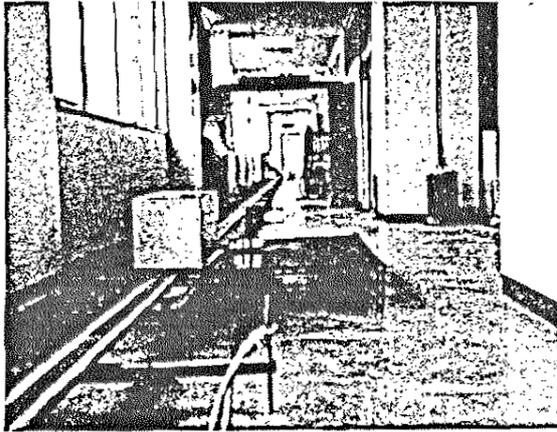


Fig.3- 1/6-scale vehicle model

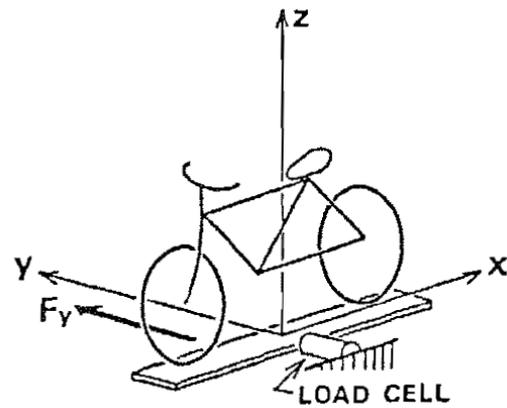
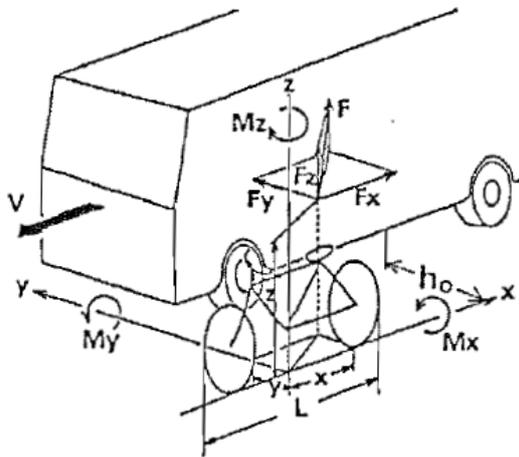
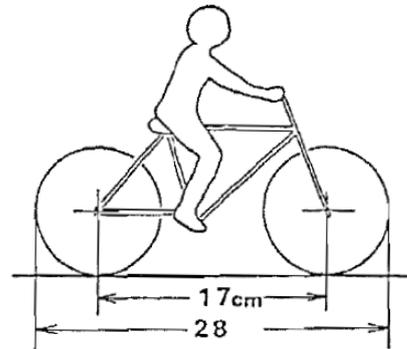


Figura 37. Modelo de ensayo y sistema de fuerzas, Kato et al. (1981).

El vehículo se lanzaba a distintas separaciones de la bicicleta, fija en el lateral de la pista, midiéndose la componente de la fuerza perpendicular aerodinámica generada, F_y , y que hace tambalear al ciclista, mediante una balanza aerodinámica situada bajo la bicicleta. A partir de esos valores se determinaba el coeficiente aerodinámico vinculado al empuje en esa dirección como $C_y = F_y / (1/2 \rho V^2 S)$.

Conclusiones

A parte de otras cuestiones aerodinámicas más teóricas, se constató que la aproximación del vehículo sobre la bicicleta se traduce en una sobrepresión hacia el exterior sobre ésta que alcanza su máximo cuando se sitúa justo al nivel de su parte trasera (Figura 38). A continuación, las presiones bajan y alcanzan su máximo negativo, succión, aproximadamente cuando los frontales de ambos se emparejan.

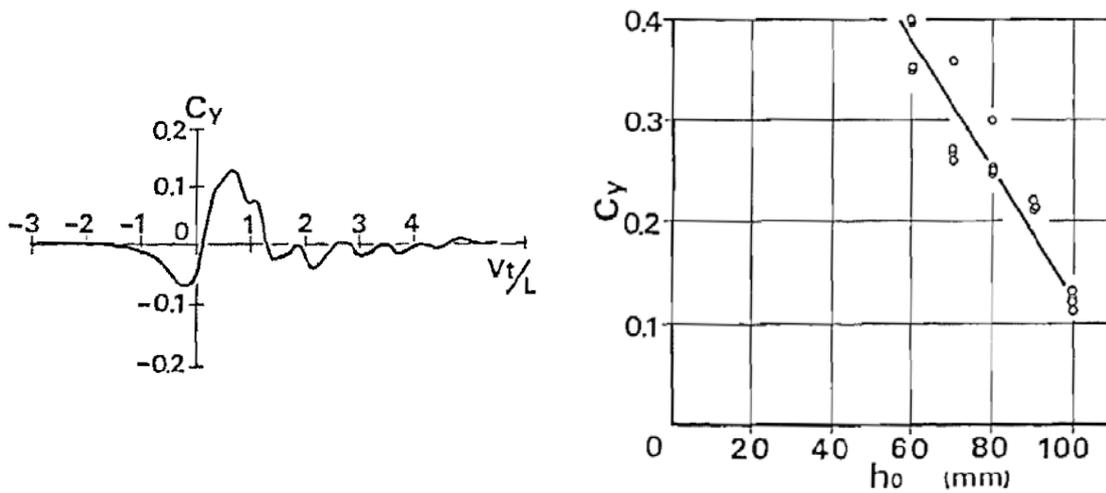


Figura 38. Variación del coeficiente C_y correlación con la separación, Kato et al. (1981).

Los coeficientes aerodinámicos C_y obtenidos reflejaban una correlación lineal con la separación entre el vehículo adelantante y la bicicleta (Figura 38).

2.1.2.3 Noger et al. (2005)

En su investigación analizan los efectos aerodinámicos generados durante el adelantamiento de un vehículo a otro mediante un modelo a escala en laboratorio.

Metodología

En un túnel de viento (Figura 39 y Figura 40) de 10 m de longitud y 5 m de ancho a escala 1:5 se modelizaron adelantamientos para distintas relaciones entre la separación y la anchura del vehículo adelantante, velocidades relativas y viento.

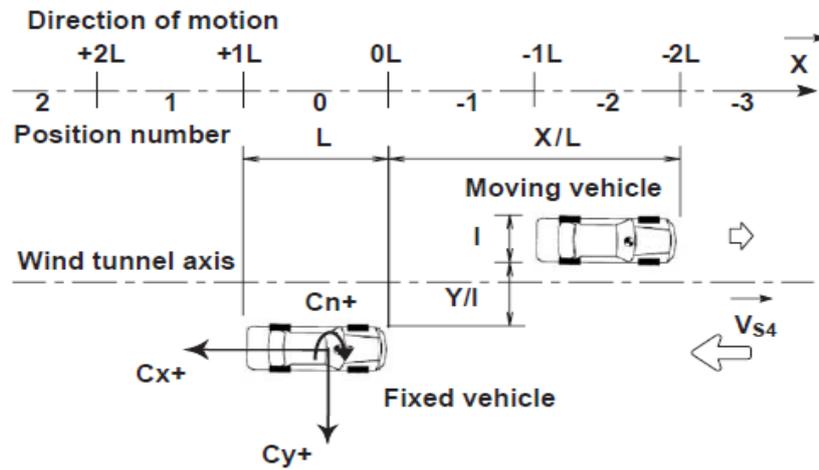
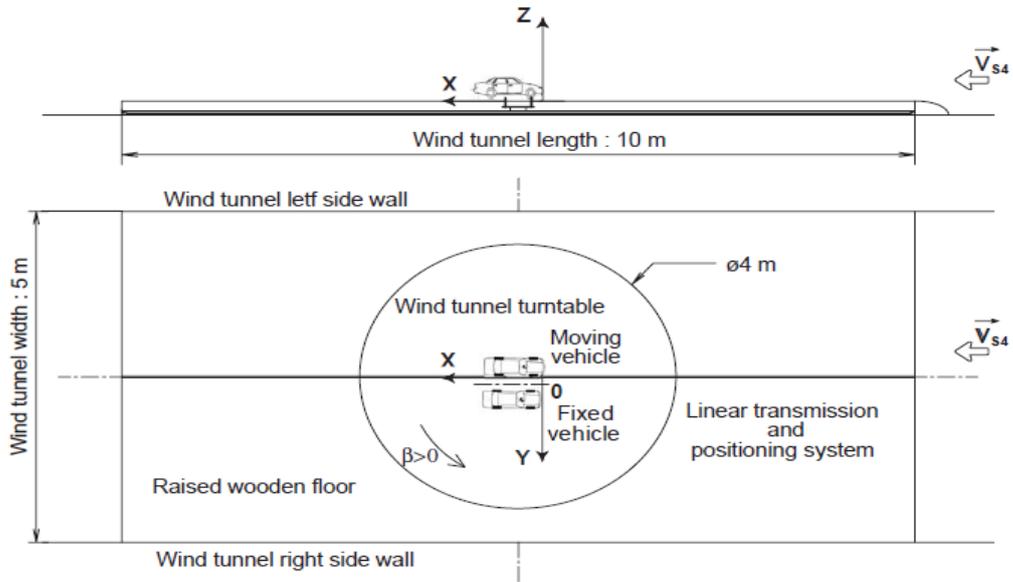


Figura 39. Modelización de las pruebas, Noger et al. (2005).

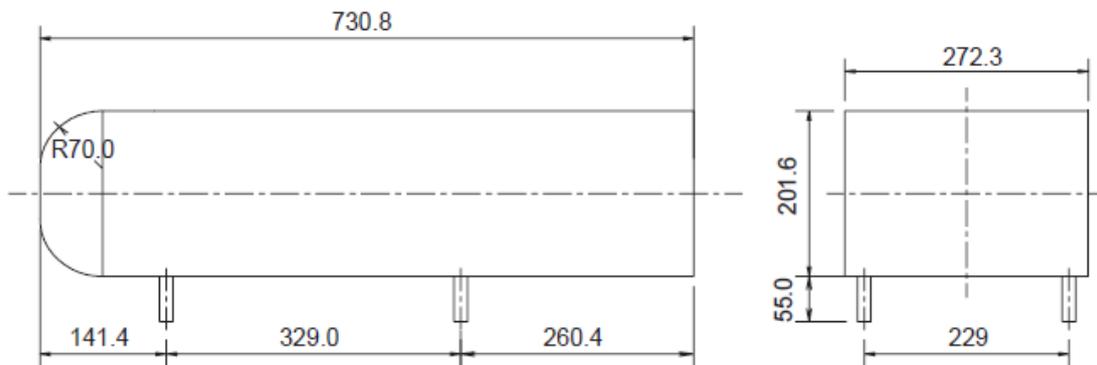


Figura 40. Esquema de los vehículos a escala, Noger et al. (2005).

A partir de los resultados obtenidos con los sensores colocados se determinaron las fuerzas aerodinámicas y los coeficientes adimensionales de fuerza de arrastre C_x , fuerza lateral C_y y momento de giro C_n .

$$F_x = \frac{1}{2}\rho SV^2 C_x(\beta),$$

$$F_y = \frac{1}{2}\rho SV^2 C_y(\beta),$$

$$N = \frac{1}{2}\rho SEV^2 C_n(\beta),$$

Conclusiones

Como consecuencia de la maniobra de adelantamiento se generan una serie de fuerzas sobre el vehículo adelantado, siendo las más importantes las ortogonales al vehículo. Concretamente, y como ese aprecia en la Figura 41, la aproximación del vehículo adelantante se traduce en una sobrepresión hacia el exterior sobre el vehículo adelantado que alcanza su máximo cuando se sitúa justo al nivel de su parte trasera. A continuación, las presiones bajan y alcanzan su máximo negativo, succión, aproximadamente cuando los frontales de ambos se emparejan.

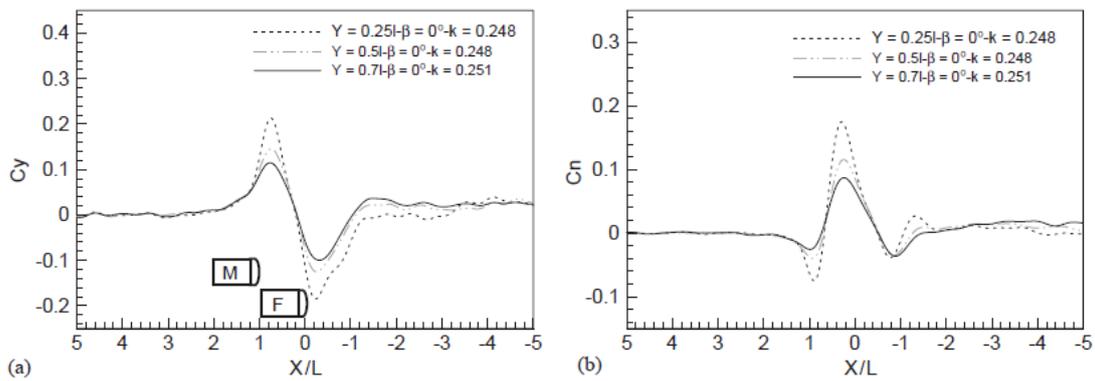


Figura 41. Variación de los coeficientes aerodinámicos, Noger et al. (2005).

Los coeficientes obtenidos (Figura 42) guardan una correlación lineal con el logaritmo del cociente entre la separación y el ancho del vehículo adelantante, y no parecen depender de la velocidad relativa a la vista de las pruebas realizadas.

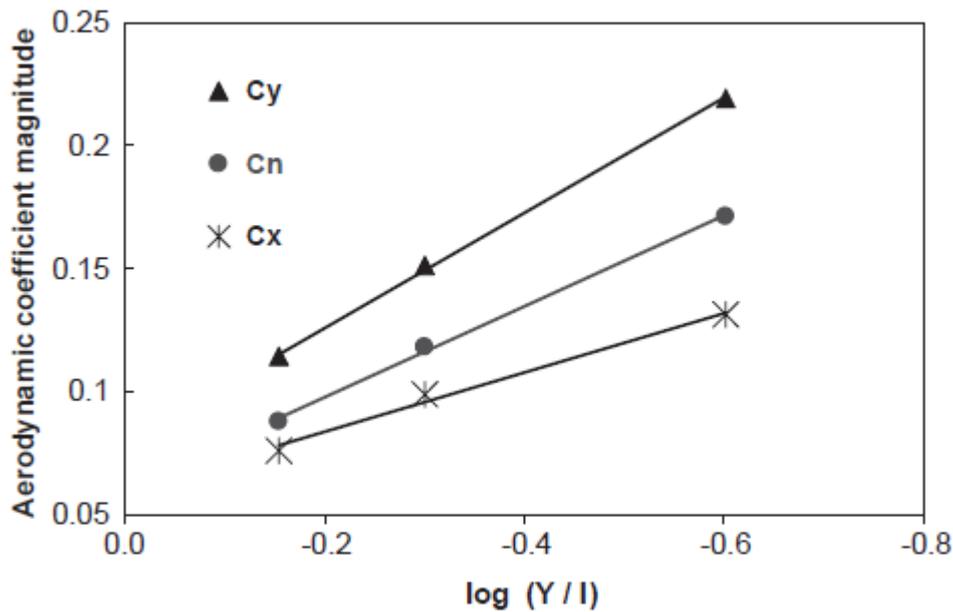


Figura 42. Correlación entre coeficientes aerodinámicos y separación, Noger et al. (2005).

2.2 Variables estudiadas

Como puede apreciarse en el análisis del estado del arte, se ha detectado el estudio de diversas variables tanto de contorno como sobre el propio fenómeno estudiado:

- Watts (1977, 1980 y 1984) estudió la incidencia de dispositivos separadores y de ropa con y sin elementos reflectantes en la separación durante el adelantamiento en carreteras convencionales y suburbanas.
- Harkey y Stewart (1997) analizaron la incidencia en la separación de la existencia o no de carriles bici adosados o arcenes pavimentados en zona metropolitana. Tuvo en cuenta el tipo vehículo, la existencia de tráfico en el carril contrario, la colocación lateral del ciclista y del vehículo en la vía o la invasión por el conductor del carril contrario.
- Hunter et al. (1999) compararon los conflictos producidos entre vehículos y ciclistas en intersecciones con carriles para bicicletas o carriles anchos de uso compartido teniendo en cuenta factores como sexo, edad, raza, el tráfico existente en el carril contrario y otras circunstancias de conflicto.
- Hunter (1999) evaluó la influencia de las carreteras con arcenes pintados de color rojo sobre la velocidad de los vehículos que circulan por estas vías.
- Hunter et al. (2005) examinaron los efectos en la separación de la conversión de la plataforma de una carretera en zona urbana con carril de uso compartido a una plataforma con carril y franja reservada para ciclistas.

- Walker et al. (2006) evaluaron la separación durante el adelantamiento a ciclistas con o sin casco y según sexo distinguiendo por tipo de vehículo adelantante en tramos de viarios urbanos.
- Parkin et al. (2006) elaboraron modelos de percepción de riesgo de los ciclistas en tramos e intersecciones en zona urbana en base a variables como el tráfico, la señalización y el trazado.
- Parkin y Meyers (2009) estudiaron la separación durante el adelantamiento a ciclistas en tramos de carretera en zona urbana con velocidades máximas permitidas diferentes con y sin carril bici.
- Chapman y Noyce (2010 y 2012) estudiaron la separación durante el adelantamiento a ciclistas a lo largo de las carreteras interurbanas y caminos rurales considerando el estado de las carreteras, su señalización vertical y horizontal, la existencia de arcén y pavimentación del mismo, la velocidad y posición de la bicicleta, el tipo de vehículo, su velocidad estimada y posición en el carril o la ocupación del carril contrario y la presencia de tráfico opuesto.
- Savolainen et al. (2012) evaluaron la disposición lateral de los vehículos durante los adelantamientos a ciclistas en carreteras interurbanas centrándose en la influencia de las bandas sonoras de la línea central de la calzada y en arcenes teniendo en consideración el número de ciclistas y su disposición lateral, el tipo de vehículo adelantante y la presencia de tráfico opuesto.
- Dozza y Werneke (2014) recopilaron y analizaron eventos críticos sufridos por ciclistas en entorno urbano y periurbano.
- Dozza et al. (2015) analizaron las maniobras de adelantamiento a ciclistas por parte de los vehículos en carreteras rurales determinando las zonas de confort y las separaciones durante la maniobra por parte de los vehículos y considerando la influencia de variables como la presencia de tráfico opuesto, la velocidad del vehículo adelantante y tiempo de adelantamiento, el ancho de carriles y arcenes, la visibilidad o el límite de velocidad.
- Mehta (2015) se centró en analizar la separación durante el adelantamiento en arterias urbanas y cuantificar la influencia que los parámetros geométricos y del tráfico en la misma considerando la influencia de la presencia de carril bici exclusivo, la invasión del carril contiguo o la amplitud de la sección transversal.
- La N.Z. Transport Agency (2016) analizó la separación durante la maniobra de adelantamiento en zonas urbanas e interurbanas valorando la anchura del arcén y la comodidad por parte del ciclista durante la misma.
- Bella y Silvestri (2017) analizaron los efectos sobre el comportamiento del conductor durante la maniobra de adelantamiento en un simulador de tres secciones transversales de una carretera convencional rural de dos carriles combinadas con cuatro elementos geométricos en el trazado en planta.

- El U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (USDOT FHWA), en su publicación “A Bikeway Criteria Digest. The ABCD’S of Bikeways” (1977) incluyó una correlación entre la velocidad de adelantamiento de camiones y la fuerza aerodinámica generada sobre un ciclista en función de la separación sobre éste.
- Kato et al. (1981) analizaron los efectos aerodinámicos generados durante el adelantamiento de un vehículo a un ciclista mediante un modelo reducido de laboratorio, estableciendo los coeficientes aerodinámicos vinculados al empuje de la fuerza perpendicular aerodinámica generada por el vehículo sobre la bicicleta en base a la separación durante la maniobra.
- Noger et al. (2005) analizan los efectos aerodinámicos generados durante el adelantamiento de un vehículo a otro mediante un modelo a escala en laboratorio determinando los coeficientes aerodinámicos resultantes en función de la relación entre la separación y la anchura del vehículo.

Las diferentes variables recogidas en estos estudios pueden agruparse en variables de contorno, variables vinculadas a la propia maniobra de adelantamiento y variables relacionadas con las fuerzas generadas sobre el ciclista durante la maniobra.

Respecto a las variables de contorno éstas pueden estar relacionadas con:

- La bicicleta y sus componentes:
 - Disposición de separadores laterales compuestos por una varilla horizontal de longitud variable y con un elemento reflectante en su extremo con formas diversas: triángulo, disco, estrella, bandera.
 - Disposición de luces y bandas reflectantes en análisis nocturno o con baja luminosidad.
 - Posición respecto al arcén.
- El ciclista y su indumentaria:
 - Uso o no de casco.
 - Reflectantes en el casco.
 - Indumentaria reflectante.
 - Indumentaria deportiva.
 - Sexo.
- La vía:
 - Tipo: urbana, periurbana, interurbana.
 - Presencia de intersecciones, cruces y glorietas.
 - Existencia o no de arcenes, anchura y pavimentación.
 - Espacios reservados para ciclistas:
 - Carriles bici exentos.
 - Carriles bici adosados con o sin encintado o bordillo de separación.
 - Arcenes coloreados.
 - Carriles bus.
 - Señalización.
 - Marcas viarias rugosas en líneas de eje y arcenes.

- El tráfico:
 - Volumen.
 - Composición.
 - Presencia de peatones.
 - Color de los vehículos.
 - Vehículos aparcados.
 - Restricciones al tráfico o tráfico libre.
 - Luminosidad de la vía (diurno, atardecer, nocturno).
- Accidentes:
 - Número.
 - Tipología.
 - Gravedad.
 - Afección a la cabeza.
 - Circunstancias implicadas.

Respecto a los parámetros de las maniobras de adelantamiento analizadas:

- Separación en el adelantamiento
- Velocidad del ciclista.
- Velocidad del vehículo adelantante.
- Demoras en aproximaciones a intersecciones.

Respecto a las fuerzas aerodinámicas:

- Velocidad absoluta y relativa.
- Coeficientes aerodinámicos.
- Presiones y subpresiones.
- Fuerzas.
- Relación entre anchura del vehículo adelantante y la separación.

2.3 Metodologías empleadas

A la vista de las investigaciones analizadas, se han podido detectar las siguientes metodologías prácticas de recogida de información.

2.3.1 Toma de datos a través de la instrumentación de bicicletas

En esta metodología se realiza la toma de datos a partir de la instrumentación de una bicicleta mediante la disposición en la misma de diferentes instrumentos de medición y/o grabación de imágenes.

Esta información se graba en las memorias internas de los dispositivos o en dispositivos de almacenamiento externo.

Complementariamente se utilizan dispositivos tipo GPS que permiten la localización en tiempo real de la bicicleta, así como su velocidad. Igualmente, se utilizan punteros láser como elemento

señalizador para servir de guía marcando la separación a un elemento de referencia como la línea de arcén o el borde exterior del mismo.

Entre los dispositivos utilizados para la recogida de información podemos citar:

- **Distanciómetro de ultrasonidos:** Permite medir la distancia entre el aparato y el vehículo adelantante mediante la emisión y reflexión de una onda de ultrasonidos. Los tiempos de recorrido de las ondas se almacenan en un colector de datos o en un ordenador portátil para luego transformarlos en distancias.
- **Cámara de fotos:** Permite medir la distancia sobre las fotos tomadas sobre los vehículos que adelantan a la bicicleta.
- **Cámara de vídeo:** Permite la grabación de los adelantamientos. Las imágenes rodadas pueden tener varias utilidades. Por un lado, su correlación con las medidas de un aparato de medición permite relacionar las distancias de adelantamiento con los vehículos implicados. Igualmente, permiten analizar las maniobras de los vehículos tanto adelantantes como los que vienen en sentido contrario. Finalmente, y según su ubicación, puede permitir el medir distancias. Las imágenes pueden grabarse en la memoria de la cámara o en un dispositivo de almacenamiento externo.
- **GPS:** Permite recoger la información en cada momento tanto de la posición de la bicicleta como de su velocidad. Igualmente permite correlacionar la posición de los adelantamientos.
- **Puntero láser:** Colocado en un punto fijo de la bicicleta y señalando hacia el pavimento, permite al ciclista mantener una distancia sensiblemente constante respecto a una referencia como puede ser la línea de arcén. Dicho láser debe ser suficientemente potente para garantizar su visibilidad durante el día.
- **Colector LIDAR:** Colocado en la parte trasera de la bicicleta realiza un barrido continuo de la posición del vehículo adelantante durante la maniobra de adelantamiento.

2.3.2 Grabación desde cámaras de video externas

Se han detectado dos tipos de metodologías. Por un lado, nos encontramos con aquella que se basan en el análisis de imágenes grabadas desde cámaras fijas que recogen las maniobras en un tramo más o menos corto en función del alcance y resolución de la cámara. Por otro lado, tenemos las que se basan en la colocación de la cámara en un vehículo móvil que va grabando las maniobras de los vehículos que lleva delante

En ambos casos, las imágenes grabadas requieren un posterior análisis y tratamiento en gabinete para medir una a una las distancias de separación en los adelantamientos.

2.3.3 Toma de datos mediante observaciones visuales para su posterior análisis

Estas experiencias consisten, básicamente, en la toma de datos referentes a aspectos como el uso del casco, chalecos reflectantes, ciertas características de los ciclistas..., para, posteriormente, realizar un análisis de la información obtenida.

Realmente, es una modalidad más simple y alternativa a la toma de datos mediante cámaras de vídeo externas.

2.3.4 Análisis estadísticos basados en los datos de partes de accidentes

Consisten en la recopilación de partes de accidentes para luego proceder a su análisis centrándose en los contenidos específicos sobre los que se pretenda realizar la investigación. Esta metodología permite realizar análisis simples o de primera aproximación, pero suele estar limitada por el alcance de la información disponible en los partes, poco clara o profunda en muchos casos y con las limitaciones de la subjetividad de la persona que los ha elaborado.

2.3.5 Encuestas sobre comportamiento y percepción

Algunas investigaciones se basan en la realización de encuestas sobre una muestra de población referentes a diferentes aspectos relativos a su percepción sobre los ciclistas, hábitos... Se enmarcan dentro del campo del análisis psicológico del comportamiento tanto de los ciclistas como de los conductores, pero no permiten abordar los detalles concretos del comportamiento in situ de los mismos.

Debe tenerse en cuenta en estos análisis, además, el hecho del posible comportamiento condicionado y subjetivo de los participantes que puede distorsionar su forma de actuar o responder.

2.3.6 Simulaciones

Se basan en la toma de datos en campo de datos sobre diferentes tipos de vehículos, sus velocidades, comportamientos, maniobras, interacciones, etc. para luego introducirlas en un programa informático de simulación y, previa calibración, realizar modelizaciones sobre las maniobras de los diferentes vehículos y sobre sus interacciones.

2.3.7 Pistas de ensayo y modelización por ordenador

Para la estimación de las fuerzas generadas durante el adelantamiento se han realizado diversos ensayos a escala en pistas de laboratorio, disponiendo sensores en los vehículos a escala y obteniendo a través de ellos información sobre las sobrepresiones y fuerzas generadas y a partir de ellos se han deducido los coeficientes aerodinámicos y sus posibles correlaciones con algunos parámetros como la separación durante el adelantamiento y el ancho del vehículo adelantante.

También se han utilizado estos datos para elaborar y calibrar modelos 2D/3D por ordenador.

2.4 Conclusiones

Se recogen a continuación las principales conclusiones que han podido establecerse a lo largo del análisis del estudio del arte.

2.4.1 Generales

Del análisis del estado del arte no se deducen excesivas investigaciones en las que se analice el fenómeno de adelantamiento de ciclistas como tal. Sí son múltiples las que se centran en el análisis de accidentes y sus causas, tanto en zona urbana o periurbana como en zona interurbana, pero son escasas las iniciativas orientadas a analizar el fenómeno del adelantamiento mediante imágenes y toma de datos in situ del fenómeno.

La revisión en profundidad de la bibliografía específica e investigaciones relativas a la circulación de bicicletas y la maniobra de adelantamiento a ciclistas proporciona una serie de conclusiones referentes a estos ámbitos.

Las investigaciones estudiadas, muestran una gran dispersión en las variables que definen la circulación de bicicletas y las maniobras de adelantamiento a las mismas. Por lo tanto, la toma de datos de maniobras reales se hace necesaria para realizar un análisis sobre estos fenómenos.

Por otro lado, a nivel de siniestralidad, es evidente que la maniobra de adelantamiento a ciclistas es una de las maniobras más peligrosas que existen en carreteras convencionales de calzada única, tanto para los vehículos que circulan por la carretera como para los propios ciclistas.

Ello se debe a que, para adelantar a las bicicletas, el vehículo adelantante debe invadir en muchos casos el carril destinado al tráfico opuesto durante un mayor o menor periodo de tiempo. El movimiento inesperado del ciclista antes de la maniobra de adelantamiento también puede ser una causa de siniestralidad. En última instancia, la maniobra depende totalmente de los conductores, en un proceso de decisión complejo a decidir en muy breve espacio de tiempo y en el que interviene un gran número de variables. Finalmente, el ciclista es un usuario muy vulnerable y con una situación de clara inferioridad en su interacción con el resto de usuarios.

La percepción de las velocidades de aproximación de vehículos en sentido contrario, la estimación del tiempo necesario para rebasar a otro vehículo o la habilidad de los conductores para ejecutar una maniobra de aceleración son factores difícilmente controlables, que hacen del adelantamiento una maniobra peligrosa, en la que el factor humano juega un papel fundamental.

Además, dadas las características de la maniobra de adelantamiento, si llega a producirse un accidente, es probable que este sea de mucha gravedad, debido a la poca protección por parte de los ciclistas, como así indican la mayoría de estudios al respecto. La velocidad del vehículo adelantante y el tráfico también puede producir accidentes entre ellos, sin necesariamente verse afectados los ciclistas.

2.4.2 Sobre las metodologías e instrumentación

Se han planteado metodologías muy diversas, entre las que podemos destacar aquellas basadas en la grabación de vídeos mediante cámaras situadas en soportes situados en los márgenes de la carretera, así como las que se apoyan en la instrumentación tanto de vehículos como de bicicletas. A partir de estas metodologías y la instrumentación vinculada se extraen diversas variables y parámetros de las maniobras, la vía y el tráfico para su posterior análisis.

Cada una de las metodologías permite obtener informaciones distintas y desde puntos de vista distintos.

Las cámaras externas fijas permiten obtener imágenes completas si el campo de visión es suficientemente amplio y en función también de la altura de la cámara y de su resolución. Igualmente, suministran información sobre las maniobras de adelantamiento y de las características y tipos de vehículos y ciclistas implicados. Dado que son imágenes fijas y se conoce la geometría de la carretera, es posible realizar con posterioridad en gabinete su análisis obteniendo mediciones sobre separaciones de adelantamiento, ocupaciones del carril contrario, desplazamientos laterales de la bicicleta, etc. También es posible medir la velocidad aproximada de manera indirecta tanto de los vehículos como de las bicicletas.

Se ha comprobado como en otras metodologías se procede a instrumentar un vehículo dotándolo de una cámara de video que, normalmente, graba las maniobras de adelantamiento a ciclistas realizadas por los vehículos que les precede. Con esta metodología es posible medir separaciones en los adelantamientos y analizar tanto la forma en que se realiza la misma como las características de los vehículos y ciclistas afectados.

También se ha podido ver como existe la posibilidad de instrumentar una bicicleta mediante la incorporación de distanciómetros de ultrasonidos, cámaras de vídeo, GPS, dispositivo LIDAR y dispositivos señalizadores para mantener una referencia durante la circulación de la bicicleta. La información recogida se almacena en ordenadores o dispositivos de almacenamiento que se incorporan también a la bicicleta. La información recogida se procesa y analiza posteriormente en gabinete.

Adicionalmente, se ha podido comprobar el uso de otras metodologías de manera independiente o como complemento, como observaciones y toma de datos manuales, análisis estadísticos basados en partes de accidentes, encuestas o simulaciones de comportamiento.

2.4.3 Sobre los resultados

Debido a la gran variedad de las variables implicadas, como se han podido observar en las investigaciones anteriores, es complicado realizar una comparativa y análisis en conjunto. En las investigaciones analizadas anteriormente se puede observar que existen estudios tanto en zona urbana como en interurbana, lo que no permite la comparación entre ellos por tratarse de zonas con distintos límites de velocidades, distintos flujos de tráfico y características diversas de las vías estudiadas. Por lo tanto, los estudios pueden tener una validez reducida fuera del ámbito en el que fueron empleados.

Se han realizado estudios en carreteras con arcén, sin arcén, con arcenes reservados o pintados, con carriles bici, con espacios compartidos, con y sin bandas sonoras, etc.

Se han tenido en cuenta las tipologías de vehículos, la indumentaria de los ciclistas, su sexo, ...

Se ha analizado, aunque en menor grado, la ocupación del carril contrario y la interferencia con los vehículos opuestos.

Señalar que la mayor parte de las experiencias se han realizado en Estados Unidos y en Gran Bretaña, donde las infraestructuras y circunstancias de circulación no son exactamente equiparables a las que tenemos en España o en países de nuestro entorno.

2.4.4 Sobre los efectos aerodinámicos

Se han encontrado algunos estudios realizados a escala o a través de simulaciones de ordenador en los que se llega a la conclusión de que existe una relación sensiblemente lineal entre la separación durante el adelantamiento y las fuerzas transmitidas al vehículo adelantado. A mayor proximidad mayor fuerza transmitida. Igualmente, para una misma separación, los vehículos de mayor tamaño, o al menos los de mayor anchura, transmiten fuerzas mayores.

Estas fuerzas transmitidas no parecen depender de la diferencia de velocidades entre el vehículo adelantante y el adelantado.

Parece asumido de manera general que la máxima fuerza lateral asumible sobre un ciclista se sitúa en el entorno de 3,7 lb, unos 16,5 N.

2.5 Carencias del conocimiento actual

Durante esta revisión se han detectado algunas carencias o lagunas en las líneas de investigación las cuales se considera que deben tenerse en cuenta en la mejora y profundización de la metodología de estudio y de cara a avanzar en el conocimiento y en la obtención de conclusiones definitivas sobre la caracterización de las maniobras de adelantamiento a ciclistas y los parámetros que afectan a la seguridad:

- No se han tratado, en los estudios de campo revisados, variables como la velocidad del vehículo adelantante ya que, aunque en alguno de ellos se llega a estimar esta variable, no se llegan a tomar datos específicos in situ para el análisis de la misma. Esta variable, que sí que será analizada en el presente estudio, puede tener una gran importancia en la afección que sobre la separación y sensación de seguridad percibida por el ciclista durante la maniobra de adelantamiento.
- La toma de datos de separaciones mediante distanciómetros de ultrasonidos empleada en todos los trabajos está superada en cuanto a calidad y precisión por los distanciómetros láser actualmente existentes en el mercado.
- Debe tenderse a la grabación de los vídeos en alta definición para mejorar la percepción y determinación de la magnitud de las variables estudiadas.

- No hay una clara definición del concepto de separación neta que acota la zona de riesgo entre el vehículo y el ciclista y que debería abarcar la mínima separación entre ambos y que suele coincidir con la distancia entre el extremo del retrovisor del vehículo (salvo en camiones donde por su altura queda por encima del ciclista) y la parte más próxima del ciclista (cuerpo o manillar).
- No se ha profundizado en las situaciones de riesgo por ocupación del carril contrario con tráfico opuesto en base a los anchos de ocupación o a la zona de interferencia entre ambos tráfico.
- Los trabajos analizados no recogen las impresiones in situ del propio ciclista durante la circulación y maniobras de adelantamiento. Sólo se han detectado algunos trabajos en los que, a posteriori, se recaba la opinión y su percepción de riesgo a ciclistas entrevistados sobre maniobras de adelantamiento grabadas en vídeo.
- No existe una delimitación clara de las variables que deben considerarse como significativas para la caracterización del fenómeno.
- No existen estudios sobre adelantamientos a ciclistas en carreteras con carriles o arcenes estrictos o con trazados geométrico complicados, como puede ser el caso de carreteras de montaña donde las velocidades, trazadas de los ciclistas o cadencias de pedaleo presentan singularidades respecto a un trazado más suave o generoso tanto en geometría como sección transversal. Tampoco existen estudios sobre el fenómeno en autovías.
- Igualmente, tampoco se ha profundizado en el análisis de la geometría en planta, curvas a derecha o a izquierda y su incidencia en las maniobras de adelantamiento.
- No se han analizado las consecuencias que sobre el flujo del tráfico y las velocidades de circulación se pueden generar en carreteras con gran afluencia de ciclistas.
- No se ha analizado el comportamiento durante la maniobra de adelantamiento de grupos de vehículos consecutivos en caravana.
- No se han estudiado las interacciones en el caso de que los adelantamientos se produzcan sobre parejas o grupos de ciclistas.
- No existen estudios en los que se analice de manera específica los efectos aerodinámicos del adelantamiento sobre ciclistas in situ. Los estudios realizados son a escala o a través de simulaciones de ordenador, no en circunstancias reales, y normalmente considerando en el adelantamiento objetos de similar tamaño, es decir, suponiendo adelantamiento de un coche a otro coche.

Estas son algunas de las carencias más significativas detectadas y sobre las cuales debería avanzarse en el estado del conocimiento.

3 Objetivos e hipótesis

Se describen a continuación los objetivos e hipótesis planteadas para el desarrollo de la presente tesis.

3.1 Objetivos

Tal y como se ha reflejado en las conclusiones sobre la revisión realizada en relación con el estado del arte, son varias las carencias y lagunas detectadas en las líneas de investigación analizadas, lo que pone de manifiesto la necesidad de avanzar y profundizar en el ámbito concreto de la caracterización de las maniobras de adelantamiento a ciclistas y los parámetros que afectan a la seguridad. Estas carencias lo son tanto a nivel metodológico como a nivel de análisis de las maniobras como a nivel del establecimiento de niveles de riesgo para los ciclistas.

Se plantea así, como objeto de la presente tesis, el desarrollo de una metodología que permita analizar el fenómeno del adelantamiento a ciclistas en carretas convencionales mediante la toma in situ de datos sobre separaciones, trayectorias, velocidades, etc., que faciliten el estudio de la peligrosidad de la maniobra para el ciclista y que sirvan de base para fijar criterios de seguridad de una vía para ese tipo de usuarios más vulnerables.

Este objetivo principal se ha desglosado en un conjunto de objetivos específicos:

- Diseño de una metodología para la captación de datos apoyada en una instrumentación lo más completa posible pero que, a su vez, sea fácilmente implementable de manera sencilla y cómoda. Esta metodología debe tener la suficiente versatilidad para adaptarse al análisis de las diferentes variables que afectan tanto a los ciclistas como a los vehículos como a las condiciones de contorno. Igualmente, la instrumentación debe pasar desapercibida, para que en ningún caso pueda suponer una modificación de la percepción del ciclista y su bicicleta para los conductores de los vehículos adelantantes.
- Integración en la instrumentación de un sistema de almacenamiento que permita que la información recopilada sea fácilmente almacenable durante la toma de datos y que, posteriormente, permita también su adecuado tratamiento y depuración en gabinete.
- Realización, mediante la metodología desarrollada, de la toma de datos en una serie de carreteras convencionales, con diferentes características funcionales, con el objeto de recopilar el mayor volumen de información sobre las variables involucradas en la maniobra de adelantamiento.
- Análisis descriptivo y estadístico de la información obtenida en el proceso de toma de datos experimental para caracterizar el fenómeno del adelantamiento, considerando variables como la separación, la velocidad durante la maniobra y la ocupación del carril contrario por parte del vehículo adelantante.
- Estudio del comportamiento del vehículo adelantante y del propio ciclista tanto durante la maniobra en sí como en los momentos previos y posteriores a la misma.

- Estudio de la influencia en la maniobra del tipo de vehículo adelantante, de la sección transversal, de la geometría en planta y alzado, de la visibilidad, de la presencia de tráfico opuesto o de la posibilidad de adelantamiento.
- Estimación y modelización de los efectos aerodinámicos sobre el ciclista durante el adelantamiento y análisis de su incidencia sobre su estabilidad.
- Planteamiento de correlaciones entre las principales variables analizadas y entre éstas y los efectos aerodinámicos estimados.
- Determinación de los factores que inciden en la seguridad de los ciclistas y establecimiento de un modelo sobre exposición al riesgo de los mismos junto con los niveles máximos admisibles.
- Formulación de un modelo que permita correlacionar la exposición al riesgo de los ciclistas en carreteras convencionales con la previsión de accidentalidad ciclista en las mismas.
- Establecimiento de recomendaciones y criterios para el diseño y explotación de carreteras convencionales que permitan mejorar la seguridad de circulación de los ciclistas.

3.2 Hipótesis

Muchas son la hipótesis que a priori pueden considerarse alrededor del fenómeno del adelantamiento sobre bicicletas en carreteras convencionales y que deberían despejarse a partir de la toma de datos con alguna de las metodologías existentes, y sobre las cuales se ha realizado una revisión en el análisis del estado del arte. A continuación, se recogen aquellas en las que se ha centrado la investigación.

Respecto al ciclista:

- La utilización de una bicicleta de carretera, vinculada a un ciclista más profesional, debería traducirse en mayores velocidades y menores separaciones durante la maniobra de adelantamiento. Se entiende que el conductor que adelanta a un profesional lo hace con una mayor confianza en que este tiene un mayor control de la bicicleta y es menos propenso a realizar maniobras imprevistas.
- Por el contrario, la utilización de bicicletas de paseo y de montaña en carretera, normalmente vinculadas a un usuario más ocasional, debería generar mayores separaciones y menores velocidades durante el adelantamiento.
- Cabe pensar que, durante el adelantamiento a un ciclista de apariencia profesional, el conductor apure más el espacio para iniciar el adelantamiento, mientras que, en el resto de casos, y con el fin de evitar sorpresas o reacciones inesperadas, anticipe más la maniobra y la realice de una manera menos brusca.

Respecto a los vehículos adelantantes:

- Es previsible que los vehículos de menor tamaño (ligeros o todoterrenos) guarden una menor distancia de separación durante el adelantamiento y lo hagan a mayor velocidad que vehículos de mayor tamaño como furgonetas, camionetas o camiones los cuales se supone que son conscientes de los efectos adicionales aerodinámicos que su mayor tamaño puede tener en la estabilidad de los ciclistas.
- Los vehículos de mayor tamaño deberían anticipar o iniciar antes la maniobra de adelantamiento dada su menor capacidad de maniobra.
- La presencia de vehículos circulando en sentido contrario durante la fase de adelantamiento debería generar maniobras de adelantamiento más cortas, a menor velocidad y con una menor separación respecto al ciclista. Esta circunstancia se debería acentuar en el caso del cruce con vehículos de mayor tamaño.

Respecto a las condiciones de la vía:

- En carreteras con arcenes amplios, en los que el ciclista circula suficientemente separado del carril, sería razonable que los conductores pudiesen mantener una separación suficiente sin realizar una maniobra apreciable, manteniendo su velocidad y sin ocupar el carril contrario en el caso de carreteras convencionales. Estas condiciones no podrían mantenerse en el caso de carreteras con arcenes reducidos.
- En el caso de vehículos de mayor tamaño, camiones o furgonetas grandes, debería resultar complicado mantener una separación suficiente durante el adelantamiento sin ocupar el carril contrario.
- En tramos con visibilidad suficiente, en los que está permitido el adelantamiento, y no existiendo vehículos circulando en sentido contrario, las maniobras de adelantamiento deberían ser más generosas, con mayores anticipaciones, velocidades y separaciones. Estas magnitudes se reducirían en el caso de tramos en los que la visibilidad es menor, con prohibición de adelantamiento.
- En curvas a derecha, donde los vehículos pueden tender a cerrarse más a la hora de tomarlas, sería razonable que la separación de adelantamiento fuese menor que en el caso de curvas a izquierda, en las que los conductores suelen tener, de por sí, una cierta tendencia a acercarse más al eje.
- Trazados en subida pueden generar un comportamiento diferenciado durante el adelantamiento frente a trazados descendentes.
- En carreteras estrechas y con arcenes reducidos debería ser más frecuente la circulación del ciclista por el carril y debería ser mayor la problemática de adelantamiento ante la necesidad ineludible de ocupación del carril contrario.

Respecto a los efectos aerodinámicos:

- A mayor velocidad del vehículo adelantante y menor separación las fuerzas transmitidas deberían ser mayores.
- Para una misma separación y velocidad durante el adelantamiento, las fuerzas transmitidas por vehículos de mayor tamaño deberían ser superiores.

Como puede apreciarse, son muchas las hipótesis que pueden formularse alrededor del fenómeno de adelantamiento a ciclistas y sobre las que los análisis de los resultados obtenidos a partir de una o varias de las posibles metodologías de toma de datos deberían arrojar luz y confirmar o no su validez.

4 Metodología experimental

A lo largo de la revisión del estado del arte se ha podido comprobar la utilización de metodologías muy diversas a la hora de recopilar información sobre la interacción entre vehículos y ciclistas.

Estas metodologías abarcan técnicas tan variadas como la toma de datos a través de la instrumentación de bicicletas con diversos aparatos de grabación y medición, la grabación desde cámaras de vídeo externas, la toma de datos mediante observaciones visuales e, incluso, la simulación por ordenador o la utilización de pistas de ensayo. Igualmente, se han realizado estudios a partir de datos estadísticos sobre accidentalidad y encuestas sobre el comportamiento y la percepción de los ciclistas.

Entre estas metodologías se muestran especialmente significativas aquellas en las que se recopilan datos in situ sobre el comportamiento y las maniobras realizadas por los vehículos y bicicletas. Es el caso de las que se basan en la grabación de vídeos mediante cámaras situadas en soportes ubicados en los márgenes de la carretera, así como las que se apoyan en la instrumentación tanto de vehículos como de bicicletas.

A partir de estas metodologías es posible extraer información sobre las diversas variables y parámetros involucrados en las maniobras, la vía o el tráfico para su posterior análisis. Por otra parte, cada una de las metodologías permite obtener informaciones distintas y desde puntos de vista distintos.

En el caso de cámaras externas es posible obtener imágenes de las interacciones, de las maniobras de adelantamiento y de las características y tipos de vehículos y ciclistas implicados para su posterior análisis en gabinete, permitiendo obtener información sobre separaciones de adelantamiento, ocupaciones del carril contrario, desplazamientos laterales de la bicicleta o la velocidad aproximada de los vehículos y bicicletas.

Otras metodologías se apoyan en la instrumentación de un vehículo dotándolo de una cámara de vídeo para realizar grabaciones de las maniobras de adelantamiento a ciclistas realizadas por los vehículos que le preceden y, posteriormente, utilizarlas en gabinete para medir separaciones en los adelantamientos y analizar la forma en que se realiza la maniobra.

Igualmente, se han utilizado bicicletas instrumentadas mediante la incorporación de distanciómetros de ultrasonidos, cámaras de vídeo, GPS o dispositivos LIDAR. La información recopilada durante las pruebas se almacena en ordenadores o dispositivos de almacenamiento incorporados también a la bicicleta para ser procesada y analizada posteriormente en gabinete.

Partiendo de esta base metodológica previa, se plantea la profundización en el desarrollo de una metodología experimental que permita la recopilación del mayor número de datos significativos referentes a las maniobras de adelantamiento a ciclistas y que permitan, a partir de su análisis, avanzar en el conocimiento de la incidencia de las diferentes variables implicadas, verificar las diferentes hipótesis de comportamiento tanto de los vehículos como de los propios ciclistas y establecer criterios sobre seguridad a partir de los mismos.

Para ello, y tal y como se ha indicado en los objetivos de la presente tesis, el diseño de esta metodología para la captación de datos debe apoyarse en una instrumentación completa, fácilmente implementable y discreta, presentando suficiente versatilidad para adaptarse al análisis de las diferentes variables que afectan tanto a los ciclistas como a los vehículos como a las condiciones de contorno. Igualmente, debe integrar un sistema de almacenamiento que permita que la información recopilada sea fácilmente almacenable durante la toma de datos y que, posteriormente, permita también su adecuado tratamiento y depuración en gabinete.

4.1 Análisis de metodologías

A continuación, se revisan una serie de metodologías que permitirían la obtención de información in situ sobre las diferentes variables implicadas en las maniobras de adelantamiento.

Dentro de cada metodología se ha incluido una tabla en la que se han resaltado las variables que pueden obtenerse a través de la misma dentro del conjunto de variables que se consideran significativas y que, de forma general, se recogen en la Tabla 17.

Condiciones generales				
Fecha	Hora	Climatología		
Características del trazado				
Lugar	Planta	Alzado	Sección Transversal	Límite Velocidad
Características del ciclista				
Sexo	Tamaño	Edad aproximada	Posición sobre bicicleta	Tipo de bicicleta
Casco	Tipo indumentaria	Visibilidad indumentaria	Mochila	Equipaje trasero
Circulación bicicletas				
Sentido	nº bicicletas	Forma circulación	Posición transversal	Velocidad bicicletas
Vehículo adelantante				
Tipo	Forma iniciación maniobra	Ocupación carril contrario	Prohibición adelantamiento	Posición transversal
Vehículo opuesto				
Posición transversal	Tiempo cruce	Velocidad		
Adelantamiento				
Velocidad	Separación	Desplazamiento transversal ciclista		
Otras				
Observaciones contorno	Percepciones ciclista			

Tabla 17. Variables significativas.

4.1.1 Cámaras fijas

Consiste en el análisis de imágenes grabadas en vídeo desde una cámara fija situada sobre un soporte que se coloca en un tramo concreto a estudiar. Se trata de un sistema fácil de implementar e independizable del factor humano. El soporte utilizado puede ser fijo, menos versátil, o móvil (Figura 43).



Figura 43. Cámaras sobre plataforma móvil.

La precisión de las imágenes y los datos recogidos dependerá de la calidad de la cámara, siendo preferibles cámaras de alta definición. También es importante la altura de la cámara dado que, a mayor altura, mejor es la visibilidad del área que se pretende grabar.



Figura 44. Imagen tomada desde cámara fija.

Es compatible con la utilización de un ciclista de apoyo que circule a lo largo del campo de visión captado por la cámara y que garantice la existencia de maniobras de adelantamiento. En caso contrario, la metodología estaría supeditada a su colocación en tramos de carretera con frecuencias altas de circulación de ciclistas para garantizar un número significativo de maniobras.

Los factores que inciden o condicionan la calidad de la información de esta metodología están vinculados a:

- La longitud y visibilidad en el tramo que limitan la amplitud de la zona estudiada.
- La disposición de un ciclista propio que realice recorridos de ida y vuelta garantizando suficiente número de tomas de datos o la dependencia de la coincidencia con el paso de ciclistas circunstanciales, en cuyo caso, y como se ha indicado, debería implantarse en tramos con circulación habitual de ciclistas.
- El número de cámaras colocadas, su posición, altura y precisión. Imágenes más cercanas permiten una mayor claridad y precisión a la hora de medir o fijar datos concretos tanto del ciclista como de las separaciones de adelantamiento, pero se pierde la perspectiva y visión de conjunto de la maniobra de adelantamiento. Se pierde también la información cuando la maniobra se produce en los límites del campo captado por la cámara.

- El número de cámara deberá ser el suficiente para abarcar toda la zona de estudio sin dejar lagunas o zonas muertas. En función del tipo de angular de la cámara deberá fijarse el número.

Tradicionalmente las imágenes se grababan en cintas de video, pero en la actualidad esa grabación se realiza digitalmente en discos duros de forma que se facilite posteriormente su manipulación y tratamiento informático. El conjunto del sistema se controla a través de un ordenador, fijo o portátil en función de si se trata de una instalación fija o móvil, conectado a las cámaras y los discos duros mediante un “router” y tecnología inalámbrica.

Esta metodología requiere posteriormente un importante trabajo de gabinete mediante un software de edición y tratamiento de imágenes de vídeo y sólo permite extraer conclusiones vinculadas al entorno puntual del tramo de vía considerado.

Las variables que pueden analizarse a partir de esta metodología se recogen en la Tabla 18.

Condiciones generales				
Fecha	Hora	Climatología		
Características del trazado				
Lugar	Planta	Alzado	Sección Transversal	Límite Velocidad
Características del ciclista				
Sexo	Tamaño	Edad aproximada	Posición sobre bicicleta	Tipo de bicicleta
Casco	Tipo indumentaria	Visibilidad indumentaria	Mochila	Equipaje trasero
Circulación bicicletas				
Sentido	nº bicicletas	Forma circulación	Posición transversal	Velocidad bicicletas
Vehículo adelantante				
Tipo	Forma iniciación maniobra	Ocupación carril contrario	Prohibición adelantamiento	Posición transversal
Vehículo opuesto				
Posición transversal	Tiempo cruce	Velocidad		
Adelantamiento				
Velocidad	Separación	Desplazamiento transversal ciclista		
Otras				
Observaciones contorno	Percepciones ciclista			

Tabla 18. Variables metodología cámaras fijas.

4.1.2 Vehículo flotante instrumentado

Como se ha visto, es posible instrumentar un vehículo (Figura 45) con cámaras (frontales, laterales y trasera), un distanciómetro para medir separaciones, un GPS para determinar las posiciones y velocidades del vehículo e, incluso, aceleraciones instalando una unidad inercial. De esta forma se pueden conocer datos sobre los adelantamientos que realiza el coche

instrumentado sobre ciclistas a lo largo de tramos con circulación habitual de los mismos o, también, del comportamiento durante esas maniobras de los vehículos que preceden al vehículo instrumentado.



Figura 45. Vistas de las cámaras de video digitales instaladas en el interior de un vehículo instrumentado.

La información recogida (Figura 46) se almacena en un dispositivo de almacenamiento de datos (un portátil, una unidad de captación y almacenamiento o ambos) para el posterior volcado de los ficheros generados en los ordenadores de gabinete. Tiene la ventaja de que permite obtener, a parte de la separación durante el adelantamiento, el trazado exacto del vehículo durante la maniobra y su perfil de velocidades a lo largo de la misma.



Figura 46. Imágenes grabadas desde un vehículo instrumentado.

Sin embargo, esta metodología está muy influenciado por el comportamiento “no anónimo” del conductor del vehículo instrumentado, no permitiendo tampoco controlar las variables correspondientes al tipo de ciclista.

Su utilización requiere también la circulación por carreteras habitualmente frecuentadas por ciclistas. En este sentido, puede resultar interesante su utilización haciendo seguimiento del comportamiento de los conductores que puedan preceder al vehículo instrumentado.

Las variables que pueden analizarse a partir de esta metodología se recogen en la Tabla 19.

Condiciones generales				
Fecha	Hora	Climatología		
Características del trazado				
Lugar	Planta	Alzado	Sección Transversal	Límite Velocidad
Características del ciclista				
Sexo	Tamaño	Edad aproximada	Posición sobre bicicleta	Tipo de bicicleta
Casco	Tipo indumentaria	Visibilidad indumentaria	Mochila	Equipaje trasero
Circulación bicicletas				
Sentido	nº bicicletas	Forma circulación	Posición transversal	Velocidad bicicletas
Vehículo adelantante				
Tipo	Forma iniciación maniobra	Ocupación carril contrario	Prohibición adelantamiento	Posición transversal
Vehículo opuesto				
Posición transversal	Tiempo cruce	Velocidad		
Adelantamiento				
Velocidad	Separación	Desplazamiento transversal ciclista		
Otras				
Observaciones contorno	Percepciones ciclista			

Tabla 19. Variables vehículo flotante instrumentado.

4.1.3 Observación imágenes STREET VIEW

Como alternativa al vehículo flotante instrumentado, y a nivel de gabinete, cabe la posibilidad de analizar los recorridos del vehículo utilizado en la grabación de imágenes de la opción STREET VIEW implementada en la aplicación informática de mapas GOOGLE EARTH (Figura 47). Esta opción muestra fotografías tomadas desde las 9 cámaras montadas sobre una flota de automóviles y se superponen sobre las imágenes de fondo tomadas desde satélite que componen los mapas de GOOGLE.

Se trata de una aplicación de uso libre y que lo único que requiere es disponer de un ordenador con conexión a internet en el que se haya instalado la aplicación.

A partir de ella es posible obtener panorámicas a pie de calle e imágenes a lo largo de un giro horizontal de 360º y de 290º de giro vertical, permitiendo la visualización la búsqueda de bicicletas en los tramos de carreteras a analizar (Figura 48). No obstante, esta técnica no ofrece ningún control sobre la toma de datos ni sus variables de contorno y sólo permite analizar puntualmente en el vídeo algunas maniobras, no siempre completas a causa de la discontinuidad de las imágenes, y realizar algunas medidas de separación.



Figura 47. Imagen obtenida a partir de Street View.

Puede ser de interés a la hora de realizar un trabajo previo de cara a caracterizar tramos de la red de uso habitual por parte de ciclistas, pudiendo servir así de referencia de cara a posteriores investigaciones in situ con otras metodologías.



Figura 48. Referenciación de la posición de ciclistas mediante Google Earth.

Las variables que pueden analizarse a partir de esta metodología se recogen a continuación en la Tabla 20.

Condiciones generales				
Fecha	Hora	Climatología		
Características del trazado				
Lugar	Planta	Alzado	Sección Transversal	Límite Velocidad
Características del ciclista				
Sexo	Tamaño	Edad aproximada	Posición sobre bicicleta	Tipo de bicicleta
Casco	Tipo indumentaria	Visibilidad indumentaria	Mochila	Equipaje trasero
Circulación bicicletas				
Sentido	nº bicicletas	Forma circulación	Posición transversal	Velocidad bicicletas
Vehículo adelantante				
Tipo	Forma iniciación maniobra	Ocupación carril contrario	Prohibición adelantamiento	Posición transversal
Vehículo opuesto				
Posición transversal	Tiempo cruce	Velocidad		
Adelantamiento				
Velocidad	Separación	Desplazamiento transversal ciclista		
Otras				
Observaciones contorno	Percepciones ciclista			

Tabla 20. Variables observación imágenes Street View.

4.1.4 Bicicleta flotante instrumentada

Consiste en la instrumentación de una bicicleta mediante diferentes elementos de medición y grabación de imágenes (Figura 49) con los que poder realizar una toma de datos in situ de las maniobras de adelantamiento. Es posible la colocación de cámaras enfocando hacia la parte trasera, frontal y lateral de la bicicleta para grabar los adelantamientos, distanciómetros para medir separaciones, medidores de velocidad para obtener la velocidad de los vehículos adelantantes, GPS, dispositivos LIDAR...



Figura 49. Bicicleta instrumentada.

La información recogida se almacena en un portátil, en una unidad de captación y almacenamiento o en las memorias internas propias de los dispositivos. Estos dispositivos de almacenamiento van dispuestos también en la propia bicicleta pudiendo requerir, al igual que la instrumentación colocada, de sistemas de alimentación mediante baterías.

Finalizadas las pruebas se procede al posterior volcado de los ficheros generados en los ordenadores de gabinete donde se analizan los datos sobre mediciones e imágenes recogidos. De esta manera es posible recopilar un amplio volumen de información sobre las maniobras de adelantamiento.

A demás, permite variar tanto las condiciones de contorno, como puede ser el tipo de carretera, como las propias del ciclista para comprobar la influencia en el comportamiento de los conductores a la hora de realizar el adelantamiento.

Las variables que pueden analizarse a partir de esta metodología se recogen en Tabla 21.

Condiciones generales				
Fecha	Hora	Climatología		
Características del trazado				
Lugar	Planta	Alzado	Sección Transversal	Límite Velocidad
Características del ciclista				
Sexo	Tamaño	Edad aproximada	Posición sobre bicicleta	Tipo de bicicleta
Casco	Tipo indumentaria	Visibilidad indumentaria	Mochila	Equipaje trasero
Circulación bicicleta/s				
Sentido	nº bicicletas	Forma circulación	Posición transversal	Velocidad bicicletas
Vehículo adelantante				
Tipo	Forma iniciación maniobra	Ocupación carril contrario	Prohibición adelantamiento	Posición transversal
Vehículo opuesto				
Posición transversal	Tiempo cruce	Velocidad		
Adelantamiento				
Velocidad	Separación	Desplazamiento transversal ciclista		
Otras				
Observaciones contorno	Percepciones ciclista			

Tabla 21. Variables bicicleta instrumentada.

4.2 Selección de la metodología

Como puede apreciarse, la bicicleta flotante instrumentada es la metodología que mayor número de variables permite determinar in situ dado que:

- Permite medir prácticamente todas las magnitudes cuantificables mediante los instrumentos de medición o las cámaras instalables.
- Permite elegir libremente las carreteras a analizar, lo que facilita el análisis de la influencia de la geometría o la sección transversal.
- Permite personalizar los parámetros referentes al tipo de bicicleta y a las características del ciclista, así como su posición en la sección transversal.
- Permite establecer diferentes configuraciones de ciclistas (individual, parejas, grupos) así como su forma de circulación (en paralelo, en línea...) con el fin de analizar su incidencia.
- Permite recoger las observaciones del ciclista en el momento del adelantamiento.

Esta metodología permite realizar una toma de datos simultánea e instantánea y a partir de ellos analizar múltiples factores que puedan influenciar en el mismo.

Por tanto, se opta por la metodología basada en la instrumentación de una bicicleta ya que con ella se pueden analizar o controlar prácticamente la totalidad de las variables consideradas como significativas y que permiten analizar in situ los aspectos que caracterizan y condicionan las maniobras de adelantamiento de vehículos sobre ciclistas, así como profundizar en los factores que condicionan su seguridad.

De forma más detallada, las variables susceptibles de análisis con esta metodología son las siguientes:

- Condiciones generales:
 - Fecha y hora del adelantamiento: fecha y hora en la que se produce el adelantamiento.
 - Climatología: condiciones meteorológicas en las que se realizan las observaciones (soleado, nuboso, precipitaciones) a través de la grabación de los videos o de la toma de imágenes.
 - Día: festivo o laborable.

- Infraestructura:
 - Lugar del adelantamiento: carretera y p.k. en la que se produce el adelantamiento.
 - Características del trazado:
 - Trazado en planta: recta, curva a derecha, curva a izquierda y radio.
 - Trazado en alzado: pendiente ascendente pronunciada, pendiente ascendente, llano, pendiente descendente, pendiente descendente pronunciada.
 - Sección transversal: anchura del carril y del arcén.
 - Límite de velocidad.

- Ciclista:
 - Sexo: hombre, mujer o indefinido.
 - Edad aproximada: menores de 24, entre 24 y 55 y mayores de 55.
 - Tamaño: grande, mediano o pequeño.
 - Posición sobre la bicicleta: erguido o aerodinámico.
 - Tipo de bicicletas: se caracterizará el tipo de bicicleta distinguiéndose entre bicicleta de carretera, montaña o paseo.
 - Equipamiento:
 - Casco: sí o no.
 - Tipo de indumentaria: específica, no específica o no específica con chaleco.
 - Visibilidad de la indumentaria: llamativa o desapercibida
 - Mochila: sí o no.
 - Equipaje trasero: sí o no.

- Circulación de las bicicletas:
 - Sentido de circulación: ascendente o descendente.

- Numero de bicicletas adelantadas: única, pareja o grupo.
 - Forma de circulación de las bicicletas: línea, paralelo o grupo.
 - Posición de las bicicletas en la plataforma durante la circulación: arcén, línea arcén-calzada o calzada.
 - Velocidad de las bicicletas.
- Vehículo adelantante:
- Circulación del vehículo adelantante: libre o seguimiento a otro vehículo motor.
 - Tipo de vehículo adelantante: ligero, monovolumen, todoterreno, furgoneta, camión rígido, camión articulado, autobús o motocicleta.
 - Forma de iniciación de la maniobra: lanzado o con seguimiento a la bicicleta adelantada.
 - Posición del vehículo en la calzada durante el adelantamiento: tiempo de ocupación del carril contrario.
 - Zona de adelantamiento: adelantamiento permitido o no (línea continua o discontinua).
- Vehículo opuesto:
 - Posición del vehículo opuesto.
 - Tiempo de cruce.
 - Velocidad.
 - Adelantamiento:
 - Separación: distancia lateral entre vehículo adelantante y bicicleta adelantada.
 - Velocidad del vehículo adelantante durante el adelantamiento.
 - Desplazamiento lateral del ciclista si se produce.
 - Otras:
 - Observaciones de contorno.
 - Percepción del ciclista: comentarios del ciclista sobre las maniobras grabados a través de un micrófono.

4.3 Instrumentación de las bicicletas

Se ha buscado la implementación de una instrumentación completa, pero a su vez, fácilmente instalable, de manera sencilla y cómoda, en cualquier bicicleta (de carretera, montaña, de paseo...) de forma que pueda analizarse la posible influencia también del tipo de bicicleta en las maniobras de adelantamiento con la mayor cantidad de información recopilada a través de la instrumentación colocada.

La instrumentación debe permitir recopilar el mayor volumen de información sobre el adelantamiento sin que para ello implique la colocación de un número de elementos excesivos que puedan implicar un sobrepeso excesivo o una complicación para la maniobrabilidad de la bicicleta. Y todo ello de una manera lo más discreta posible de forma que no sea perceptible, o lo sea mínimamente, por parte de los conductores evitando así que éstos puedan variar o modificar su comportamiento durante la maniobra de adelantamiento.

Para ello, la instrumentación y toma de datos se ha estructurado en dos fases:

- 1ª Fase. Prueba piloto.
- 2ª Fase. Resto de salidas.

4.3.1 Prueba piloto

Como fase inicial de la experimentación práctica se procedió a realizar una primera prueba piloto en la que se instrumentó una bicicleta de montaña (Figura 50). Se trataba de una bicicleta de montaña para adulto, de tamaño de ruedas 26", con 21 velocidades.

Para ello se le ha dotado de instrumental para el almacenamiento de datos referentes a las maniobras de adelantamiento, como la separación y la velocidad durante el adelantamiento, así como la grabación en vídeo de las maniobras. Concretamente:

- Tres cámaras de vídeo, una de ellas de alta definición con sistema de almacenamiento propio y dos más de pequeño tamaño y menor resolución.
- Un receptor del sistema de posicionamiento global por satélite GPS.
- Un equipo de medición de velocidades basado en la tecnología láser.
- Dos distanciómetros para obtener las distancias de separación durante el adelantamiento.
- Un micrófono a través del cual el ciclista puede grabar sus impresiones durante las maniobras de adelantamiento.
- Un sistema de almacenamiento de datos las dos cámaras digitales de tamaño reducido, el receptor GPS y el micrófono.
- Un pequeño ordenador portátil al que se conectan los dos distanciómetros y los medidores de velocidad puntual.
- Accesorios como portabultos, una bandeja contenedora de plástico, baterías para alimentación de los dispositivos, cables, adaptadores, bridas y sistemas de sujeción.



Figura 50. Bicicleta utilizada para la instrumentación.

Se recoge a continuación la descripción del equipamiento e instrumentación propuesta para esta experiencia. La descripción técnica detallada del equipamiento implementado se incluye en el Anexo B.

4.3.1.1 *Condicionantes de la instalación*

La implantación de la metodología ha tenido que resolver dos problemas principales:

- Conseguir disponer todos los dispositivos mencionados en el reducido espacio de la bicicleta de una manera discreta para no llamar la atención de los conductores. Para ello se ha procurado utilizar dispositivos del menor tamaño disponible compatibles con garantizar una correcta toma de datos de calidad. En el caso del netbook y el dispositivo VBOX, de mayor tamaño, se han dispuesto en la bandeja delantera con el fin de que no sean visibles por el vehículo adelantante. Igualmente se han empleado baterías prismáticas estrechas de tamaño medio dispuestas en el portabotellas.
- Garantizar la movilidad y capacidad de maniobra del propio ciclista de una manera segura sin verse entorpecido por la presencia de los dispositivos, cables y accesorios colocados. Se ha procurado dejar libre la parte central del cuadro de la bicicleta de dispositivos salvo la batería que, como se ha indicado, se ha colocado ocupando el hueco del portabotellas. Los cables de alimentación y transmisión de datos se han adaptado a los tubos del marco fijándolos con bridas de plástico que no molesten tampoco al ciclista.

4.3.1.2 *Condicionantes de la toma de datos*

La toma de datos vino condicionada por:

- Elección del tramo de prueba: Se precisa un tramo de longitud razonable y con tráfico suficiente para garantizar un número suficiente de maniobras de adelantamiento dentro del periodo de autonomía de los equipos disponibles. Dado que se trata de una primera prueba para poner a punto la metodología, parece adecuado el que la carretera cuente con arceles.
- Elección del ciclista. Se precisa de un ciclista con práctica y habilidad suficiente para poder circular con garantías de seguridad y transmitiendo un aspecto de naturalidad al resto de los vehículos que circulen por la carretera. Adicionalmente, debe mantener un ritmo de pedaleo adecuado durante el tiempo que dura la prueba
- Correcto funcionamiento de toda la instrumentación. Debe garantizarse, mediante las pruebas previas necesarias, el correcto funcionamiento de todo el equipamiento a utilizar, no sólo a nivel estático, sino instalado y en movimiento en la bicicleta.
- Durabilidad de las baterías. Deben disponerse las baterías complementarias necesarias para el correcto y continuo funcionamiento de los equipos de almacenamiento de datos.

4.3.1.3 Visibilidad del equipo

Es muy importante que todo el equipamiento se coloque de la manera más discreta y compacta en la bicicleta (Figura 51) de forma que sea mínimamente percible por parte de los vehículos adelantantes. De esta manera se pretende conseguir que su comportamiento no se vea alterado en las maniobras de adelantamiento.

En esta línea es especialmente importante minimizar la visión de los equipamientos colocados en la parte trasera de la bicicleta dado que va a ser la zona inicial y más directamente visible por el vehículo adelantante. Para ello, se ha recortado la bandeja trasera dejándola reducida al tamaño estricto necesario para colocar la cámara trasera, un distanciómetro y uno de los módulos del medidor de velocidad.

En el caso de los equipamientos dispuestos en la bandeja delantera, el problema de su visibilidad no es tan preocupante ya que queda tapado por el cuerpo del ciclista, no siendo visible, por tanto, por el vehículo adelantante.



Figura 51. El cuerpo del ciclista oculta la visión de la bandeja delantera.

4.3.1.4 *Velocidad de circulación de la bicicleta*

La circulación de la bicicleta debe reflejar un aspecto de normalidad tanto en su trayectoria como en su velocidad. Igualmente, dicha circulación no debe verse influenciada por el peso adicional del equipamiento transportado ni por la duración de las pruebas.

Por ello, se ha buscado a una persona practicante habitual de ciclismo y perteneciente a la comunidad universitaria.

Dentro de la práctica habitual, se considera que una velocidad media de unos 20 km/h puede ser razonable.

4.3.1.5 *Diseño de la prueba*

Se describe a continuación el proceso desarrollado para el diseño y ejecución de la prueba piloto a partir de la instrumentación de una bicicleta.

4.3.1.5.1 *Trabajo previo de gabinete*

El trabajo previo de gabinete se centró en la instrumentación y puesta a punto de la bicicleta y en la elección del tramo de prueba.

4.3.1.5.2 *Puesta a punto de la instrumentación*

Partiendo de la utilización de una bicicleta de montaña, con anterioridad a la toma final de datos en campo se procedió a la realización de una serie de trabajos previos de gabinete:

- Determinación de los materiales y equipos requeridos para su instalación en la bicicleta a utilizar en la prueba de campo. Finalmente, se optó por disponer:
 - Dos portabultos planos, de pequeño tamaño, uno en la parte delantera y otro en la trasera (Figura 52). Éste último se recortó en su longitud dejándolo en la mitad, aproximadamente, con el fin de minimizar su posible percepción visual por parte de los conductores de los vehículos adelantantes.



Figura 52. Bicicleta dotada de portabultos y bandeja delantera.

- Un sistema de almacenamiento de datos VBOX y un ordenador portátil de tamaño reducido (Figura 53) dispuestos en el interior de la bandeja delantera.



Figura 53. Ordenador portátil y dispositivo VBOX.

- Dos cámaras en la bandeja delantera de la bici, una enfocando al frente, y otra, perpendicular al sentido de marcha, enfocada hacia al lateral de adelantamiento (Figura 54). Ambas cámaras se conectaron al dispositivo de almacenamiento VBOX para almacenar las imágenes grabadas.



Figura 54. Cámaras delanteras.

- Una cámara con gran angular (Figura 55) situada en la parte inferior del portabultos trasero. Los vídeos grabados se almacenan directamente en su tarjeta de memoria interna, la cual fue limpiada de ficheros anteriores.



Figura 55. Cámara trasera Go Pro.

- Dos distanciómetros, uno dentro de la bandeja delantera y otro sobre el portabultos trasero (Figura 56). Ambos se conectaron a sendos puertos USB del ordenador portátil colocado en la bandeja delantera para almacenar la información sobre la separación de los adelantamientos. La disposición de dos distanciómetros en lugar de uno garantiza un margen de seguridad en la toma de separaciones.
- Un medidor de velocidad puntual (Figura 56). Uno de los detectores se dispuso dentro de la bandeja delantera y el otro sobre el portabultos trasero. Se conectaron a otro de los puertos USB del ordenador portátil para almacenar la información sobre la velocidad de los adelantamientos. La separación entre las dos unidades del

medidor de velocidad fue de 105 cm. Este valor es necesario para la correcta interpretación de los datos por el software de captación de datos, software libre "FOX TERM", y se le suministra mediante una orden por línea de comandos.



Figura 56. Distanciómetros (verde) y medidores de velocidad (rojo).

- Un GPS (Figura 57) conectado al dispositivo VBOX para almacenar los datos sobre posición y velocidad de la bicicleta.



Figura 57. Dispositivo GPS.

- Un micrófono conectado al dispositivo VBOX para grabar las impresiones del ciclista en el momento de los adelantamientos. Con el fin de simplificar la información a generar y la intervención del propio ciclista, se establecieron los siguientes aspectos a comentar:
 - Percepción subjetiva:
 - Distancia:
 - cercana/media/lejos
 - Velocidad:
 - por debajo de la media/media/por encima de la media
 - Riesgo para el ciclista:
 - bajo/medio/alto
 - Riesgo en el cruzamiento de los vehículos a motor:
 - sí/no
 - Efecto aerodinámico:
 - Desplazamiento paralelo:
 - sí/no
 - Succión:
 - sí/no
 - ¿Ha cambiado tu posición transversal durante el adelantamiento?:
 - Sí/no
 - Comentarios libres

- La implantación del instrumental en la bicicleta se complementó con una serie de elementos accesorios (Figura 58) tanto para fijar su posición en la misma como para conectarlo a los dispositivos de almacenamiento como para suministrar la energía necesaria para su funcionamiento. El peso final de la instalación se sitúa en los 6 kg.

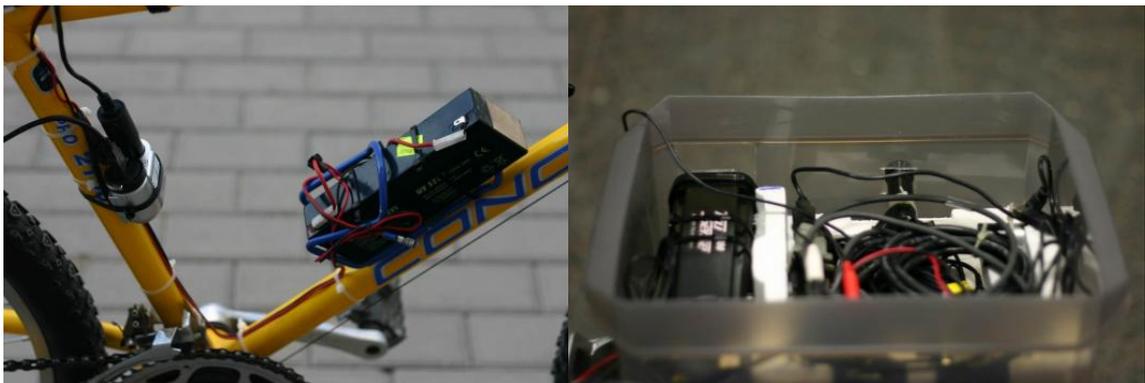


Figura 58. Batería, conexiones y cableado accesorio.

- Realización de varias pruebas sobre el montaje y disposición de los equipos hasta conseguir un encaje lo más compacto de los mismos de forma que se permitiese conjugar una percepción mínima de los mismos por parte de los conductores con una maniobrabilidad adecuada de la bicicleta.

- Comprobación de la duración de las baterías. Pudo comprobarse en las pruebas previas una duración de unas dos horas y media para el caso del ordenador portátil y de una hora para las baterías de alimentación del resto del instrumental.
- Realización de varios recorridos de prueba en los viarios existentes en los alrededores de la UPV con el fin de comprobar el funcionamiento de los diferentes equipos con la bicicleta en movimiento en entornos con tráfico real.

Una vez completada la fase previa de puesta a punto de la metodología y fijado el día de la prueba, se procedió, la víspera de la misma, a:

- montar el equipamiento en su situación definitiva (Figura 59).
- sincronizar la hora del ordenador portátil con la del dispositivo VBOX grabando con las propias cámaras el instante de encendido y apagado de los sensores conectados al dispositivo VBOX con lo que se obtiene la sincronización en dos instantes.
- sincronizar las cámaras de vídeo mediante su ajuste respecto a referencias fijas.
- cargar totalmente las baterías y limpiar las tarjetas de memoria.



Figura 59. Bicicleta completamente instrumentada.

4.3.1.5.3 Elección del tramo de prueba

En paralelo a las labores de instrumentación se procedió también a la elección del tramo de carretera en el que se realizaría la prueba del equipo. Finalmente se escogió un tramo de carretera convencional comprendido entre los pp.kk. 76+200 y 83+500 de la carretera CV-50 entre las poblaciones de Chiva y Vilamarxant. Se escogió éste por:

- Su proximidad a la ciudad de Valencia.
- Disponer de una plataforma 7/10 adecuada para una circulación cómoda del equipo.
- Tener una IMD razonable y no excesiva, ligeramente superior a los 4.000 veh/día, que garantice un número suficiente de maniobras de adelantamiento.
- Disponerse de datos sobre geometría en planta y alzado, visibilidad, perfiles de velocidad..., procedentes de otros estudios anteriores realizados por el Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras (GIIC) de la Universitat Politècnica de València.

4.3.1.6 Desarrollo de la prueba piloto

La prueba piloto se realizó el miércoles 4 de julio de 2012. La carretera elegida fue, como se ha indicado, la CV-50, de titularidad autonómica (Figura 60, Figura 61 y Figura 62) entre los pp.kk. 83+500 (rotonda salida Vilamarxant) y 76+200 (rotonda conexión con CV-383 en Cheste).

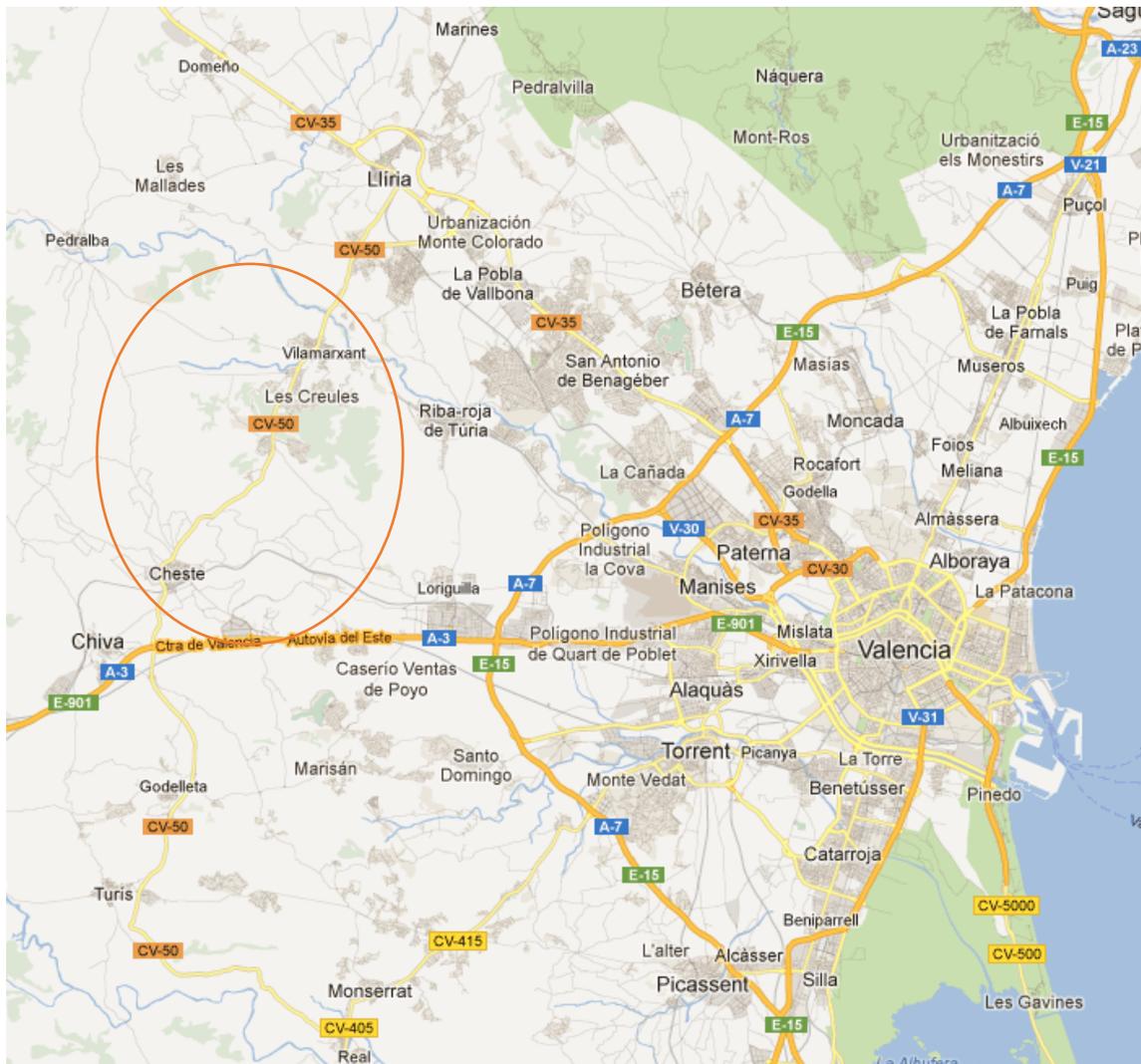


Figura 60. Localización del tramo.



Figura 61. Tramo de prueba.

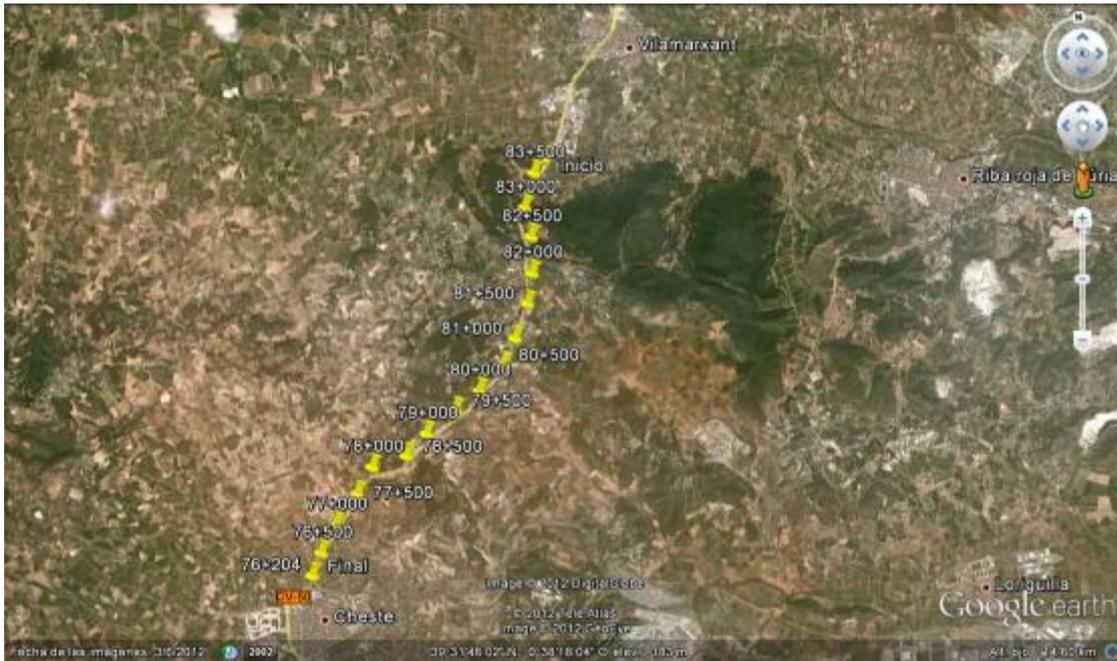


Figura 62. Kilometraje del tramo.

Este trayecto, de casi 8 km de longitud, fue recorrido, ida y vuelta, en tres ocasiones entre la 9,15 h y las 11,15 h aproximadamente. La prueba tuvo una duración, por tanto, de unas dos horas y la velocidad media fue de unos 24 km/h. El tiempo fue soleado con una temperatura entre 20 y 25º C.

Este tramo tiene características de carretera convencional y no dispone de control de accesos.

Su plataforma dispone de carriles de 3,50 m y arcenes de 1,50 m. Con esta sección transversal la velocidad legal máxima genérica para vehículos ligeros es de 100 km/h. Según los datos del mapa de aforos de 2011 la IMD en el tramo se sitúa en unos 4.370 veh/día con un 6,1% de vehículos pesados.

Discurre por terreno llano y ondulado. Su geometría en planta presenta radios entre 231 m y 1.526 m con intercalaciones de algunos tramos de recta, mientras que en alzado las pendientes máximas se sitúan en el 5,2% y las mínimas en el 0,4 %.

La bicicleta fue transportada completamente instrumentada hasta el punto inicial de la prueba en una furgoneta.

El ciclista que realizó la prueba, profesor del Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos, de 40 años de edad y experiencia suficiente en circulación con bicicleta por carretera (Figura 63), fue equipado con maillot profesional y casco y realizó la circulación por el arcén, procurando mantener una distancia al borde del carril de 50 cm.

Al casco se le incorporó un micrófono con el que grabar los comentarios relacionados con su percepción de los adelantamientos.



Figura 63. Ciclista durante la prueba.

4.3.1.7 Conclusiones metodológicas

Fruto de este trabajo de instrumentación de la bicicleta y de la experiencia acumulada durante la prueba piloto realizada se obtuvieron una serie de conclusiones, algunas de las cuales sirvieron para mejorar la instrumentación de las bicicletas utilizadas en el resto de pruebas posteriores. Se exponen a continuación.

4.3.1.7.1 Respecto a la disposición de la instrumentación en la bicicleta

- Se ha dotado a la bicicleta de un número suficiente de instrumentos de grabación y medida (cámaras, distanciómetros láser, medidores de velocidad, GPS y micrófono) los cuales permiten la obtención de un volumen importante de información, tanto sobre las maniobras y movimientos como sobre magnitudes relativas a la velocidad y separaciones durante las maniobras.
- Se ha conseguido disponer todos los instrumentos y accesorios en la bicicleta de manera razonablemente compacta, consiguiendo minimizar suficientemente la percepción por parte de los conductores adelantantes de los instrumentos colocados en la parte trasera y quedando impedida la visión de la bandeja delantera al quedar tapada por el cuerpo del ciclista.
- Todos los elementos accesorios (baterías, cables, conectores...) se han podido disponer también adecuada y discretamente, habiendo permitido el correcto funcionamiento tanto de los instrumentos de captación de información como los de almacenamiento.
- Se ha conseguido garantizar la movilidad y capacidad de maniobra del propio ciclista de una manera segura sin verse entorpecido por la presencia de los dispositivos, cables y accesorios colocados.
- Como dato negativo, se constató el excesivo de movimiento de la bandeja delantera, generando vibraciones en las grabaciones realizadas y generando incomodidad durante la conducción de la bicicleta.

4.3.1.7.2 Respecto al funcionamiento durante la prueba piloto

- La instrumentación ha funcionado de manera satisfactoria durante todo el tiempo que ha durado la prueba piloto. La información se ha recogido correctamente en los dispositivos de almacenamiento y la autonomía de las baterías ha sido correcta. La batería del ordenador portátil no se agotó durante la prueba y las tres baterías exentas utilizadas para alimentar al resto del instrumental, una para cada uno de los tres recorridos, mantuvieron correctamente el suministro de energía durante los 40 min que, aproximadamente, duró cada uno de ellos.
- Las grabaciones realizadas por la cámara trasera han sido de buena calidad y estables, sin vibraciones ni movimientos reseñables, lo cual ha favorecido su edición.
- Las imágenes grabadas por las cámaras delanteras han sido de menor calidad y han puesto de manifiesto movimientos y vibraciones de la bandeja delantera, aspectos estos que han dificultado su edición.

- El micrófono instalado, y a través del cual el ciclista ha grabado sus percepciones durante los adelantamientos, ha permitido recopilar una información muy valiosa, aunque su escucha durante los trabajos de gabinete se ha visto dificultada por el excesivo ruido de fondo existente, siendo especialmente fuertes los ruidos de origen aerodinámico durante los tramos de bajada. Igualmente, el número de comentarios disminuyó conforme avanzaba la prueba.
- El ciclista procuró mantener una separación de 50 cm respecto a la línea de arcén, aunque tuvo que hacerlo guiado por su propia experiencia y habilidad.
- La instrumentación implementada ha presentado una fiabilidad alta, superior al 90%, a la hora de detectar las velocidades y separaciones en las maniobras de adelantamiento.

4.3.1.7.3 Respecto a los posibles errores de la metodología

La aplicación de esta metodología con el instrumental propuesto implica la existencia de una serie de fuentes de error dependiendo de cada aparato:

- La posición y velocidad de la bicicleta dependen del GPS, cuya precisión se ha situado en el entorno de 5-10 m en valor absoluto, no teniendo una aficción destacable sobre los resultados obtenidos.
- En cuanto a la distancia lateral, los distanciómetros permiten precisiones de 1 cm. Se ha detectado que algunos objetos, como coches negros, han podido generar algún fallo en el láser, aunque no ha sido lo habitual.
- Los velocímetros permiten realizar mediciones en parado con precisiones de 1 km/h. Aunque la bicicleta se ha encontrado en movimiento durante la toma de datos, se considera que la importante diferencia de velocidad relativa en la mayoría de las maniobras hace que este parámetro no haya sido relevante.
- Las variables en forma de tiempo no han presentado errores apreciables, pues se miden desde un vídeo a 24 fotogramas por segundo, es decir, 1/24 s de error.

La combinación de todos estos pequeños errores no ha podido establecerse con precisión, pero se considera que no han tenido una incidencia significativa en el resultado final dado que, además de su pequeña magnitud, posteriormente toda la información ha sido volcada en los ordenadores de trabajo y revisada y filtrada en gabinete, contrastándose y validándose la coherencia y correlación de todos los datos recopilados y descartándose los que se han presentado como erróneos.

4.3.2 Resto de tomas de datos

Partiendo de la experiencia de la prueba piloto se ha procedido a ampliar el alcance de la investigación mediante la toma de datos en un mayor número de carreteras y de diferente tipología, tanto en su jerarquía, como en sus características geométricas, como en las características de tráfico. De esta forma se pretende obtener información sobre la incidencia que la variación de las diferentes características de las carreteras tiene sobre las maniobras de adelantamiento.

Para ello, se han seleccionado 7 tramos de carreteras pertenecientes a redes de distinta titularidad, con diferentes características funcionales. Concretamente:

- Se han seleccionado carreteras pertenecientes a la Red Estatal (N-225), a la Autonómica (CV-333, CV-405), a la Provincial (CV-315, CV-376, CV-310) y a la Local (CV-3505), con diferente funcionalidad y que dan servicio a tráficos de largo, medio y corto recorrido.
- Las velocidades legales en las carreteras se sitúan entre los 80 km/h y 100 km/h y sus trazados no son especialmente sinuosos en planta y tampoco presentan un perfil longitudinal con pendientes singulares. Estas características geométricas y de visibilidad puedan traducirse en diferentes intervalos de velocidades de operación.
- Los tramos seleccionados presentan diferentes secciones transversales con anchuras de carril entre 3,05 m y 3,50 m y de arcén entre 0,50 m y 2,50 m.
- Dos de las carreteras seleccionadas, concretamente la CV-310 y la CV-315, presentan arcenes coloreados para ciclistas.
- Cuentan con diferentes intensidades medias diarias, entre 2.000 veh/día y 14.000 veh/día, y con diferentes porcentajes de vehículos pesados, entre 1,7% y 15,5%, con el fin de disponer de información en un rango amplio de ambos parámetros.

Concretamente, las 7 nuevas carreteras en las que se han tomado datos (Tabla 22) han sido las siguientes:

- CV-3505. Acceso Casinos, pp.kk. 37,803 al 38,906. Carriles de 3,50 m y arcén de 1,50 m.
- CV-315. Náquera, pp.kk. 13+000 al 17+100. Carriles de 3,15 m y arcén de 2,50 m pintado de rojo.
- CV-376. Liria-Pedralba, pp.kk. 1+400 al 7+160. Carriles de 3,25 m y arcén de 0,50 m.
- CV-310. Bétera-Náquera, pp.kk. 9+480 al 14+800. Carriles de 3,15 m y arcén de 1,50 m pintado de rojo.
- CV-333. Betera-Olocau, pp.kk. 3+700 al 8+490. Carriles de 3,05 m y arcén de 1,10 m.
- N-225. Algar de Palancia-Grao de Castellón, pp.kk. 4+690 al 10+060. Carriles de 3,50 m y arcén de 1,50 m.
- CV-405. Torrent-Monserrat, pp.kk. 3+140 al 8+940. Carriles de 3,50 m y arcén de 1,00 m.

Tramo	Carretera	PK inicial	PK final	Long (km)	IMD (v/d) (2013)	% Pesados	Carril (m)	Arcén (m)
Casinos	CV-3505	37,803	38,906	1,103	2.663	4,91%	3,50	1,6
Náquera	CV-315	13,000	17,100	4,100	6.050	1,88%	3,15	2,5
Pedralba	CV-376	1,400	7,160	5,760	3.607	3,74%	3,25	0,5
Bétera	CV-310	9,480	14,800	5,320	5.029	1,69%	3,15	1,5
Portaceli	CV-333	3,700	8,490	4,790	3.779	1,70%	3,05	1,1
Torrent	CV-405	3,140	8,940	5,800	14.334	3,10%	3,50	1,0
Algar	N-225	4,690	10,060	5,370	4.862	15,53%	3,50	1,5

Tabla 22. Carreteras en las que se han realizado las nuevas salidas.

Por otra parte, se ha incorporado también la utilización de una bicicleta de carretera para la toma de datos (Figura 65) de forma que los recorridos realizados se han duplicado, usando bicicleta de montaña y de carretera con el fin de buscar similitudes o diferencias en el comportamiento de los conductores a la hora de adelantar a uno u otro tipo de ciclista. Esta duplicidad ha obligado a realizar nuevos trabajos de adaptación de la instrumentación necesaria para la toma de datos a la bicicleta de carretera.

Igualmente, se han introducido algunas modificaciones en la forma en la que se ha dispuesto la instrumentación en las bicicletas con el fin de solventar algunos de los problemas detectados en la prueba piloto. Básicamente, las modificaciones introducidas han consistido en la eliminación de la bandeja delantera, la cual daba problemas de vibraciones y resultaba excesivamente aparatosa, de forma que los instrumentos de medición y grabación se han mantenido sobre una plataforma delantera más rígida, mientras que el mini portátil, el dispositivo de almacenamiento VBOX y las baterías se dispusieron en el hueco del cuadro central de la bicicleta (Figura 64).

Esta nueva disposición ha facilitado también la conducción de las bicicletas al disponerse los elementos de mayor peso en la zona central y no volando en la parte frontal como ocurría en la disposición de la prueba piloto.



Figura 64. Nueva disposición de la instrumentación en la bicicleta de montaña.



Figura 65. Bicicleta de carretera completamente instrumentada antes de una salida.

Las salidas con la bicicleta de montaña se realizaron entre octubre y diciembre de 2012. Por su parte, las realizadas con la bicicleta de carretera se realizaron entre enero y febrero de 2013. Todas las salidas, salvo la primera, fueron realizadas por un mismo ciclista aficionado (Figura 65), de unos 25 años de edad, perteneciente al club ciclista de la UPV contratado a través del servicio de empleo de la Universidad. La indumentaria utilizada fue la habitual para un ciclista sin ningún rasgo especial. Fue equipado con maillot profesional y casco sin singularidades adicionales. La utilización de un único ciclista ha tenido como objetivo evitar variaciones en la forma de circulación entre unas pruebas y otras.

De esta forma se han recorrido, y adicionalmente a la prueba piloto, con la bicicleta de montaña, 341,4 km habiéndose recopilado datos e imágenes de los adelantamientos durante unas 17 h. Por su parte, los recorridos con bicicleta de carretera se han extendido a lo largo de casi 306 km, lo que ha supuesto la toma de datos durante más de 14:30 h.

En el Anexo C se recopilan las principales características de los tramos.

4.4 Reducción de datos

Durante las pruebas, los sistemas de grabación han generado una serie de archivos en los que se ha almacenado la información recogida. Concretamente:

- Archivos de vídeo que contienen las imágenes procedentes de las cámaras.
 - Las dos cámaras delanteras (Figura 67) generaron vídeos conjuntos en formato *avi* de resolución 720x576 grabados en el dispositivo VBOX donde puede apreciarse en una sola toma tanto la imagen lateral como la frontal.
 - Por su parte, la cámara trasera (Figura 66) generó ficheros de vídeo almacenados en su propia tarjeta de memoria, en formato *mp4*, de resolución 1.280x720.



Figura 66. Imagen tomada desde la cámara trasera.



Figura 67. Imágenes tomadas desde las cámaras delanteras.

- Archivos de texto:
 - Archivo de texto que incluyen la posición del vehículo, así como su velocidad, a lo largo del tiempo, proporcionada por el receptor GPS y almacenados en el dispositivo VBOX.
 - Archivos de texto que incluyen los datos de velocidades medidas por el medidor de velocidad puntual a lo largo del tiempo.
 - Dos archivos de texto con las lecturas de distancias de separación recogidas por cada uno de los dos distanciómetros a lo largo del tiempo.

Tanto los archivos de vídeo como los de datos fueron volcados a un ordenador mediante tarjetas de memoria para su tratamiento.

Adicionalmente, los datos de posicionamiento fueron correlacionados con la información referente a los pp.kk. de las carreteras y los datos geométricos, posibilidad de adelantamiento y visibilidad disponibles.

En cuanto a los datos proporcionados por los distanciómetros y el medidor de velocidad puntual, se han obtenido archivos de texto en los que cada línea corresponde con una medición para cada instante de tiempo.

Dichos archivos han sido filtrados, para eliminar aquellas medidas que no se correspondan con distancias a un vehículo adelantante o velocidades de vehículos adelantantes, descartándose las referentes a vehículos opuestos o a elementos del entorno de las carreteras. Todo este proceso se ha realizado de forma semiautomática durante la fase de reducción de datos para, posteriormente, realizar una depuración final mediante el cruce de los datos de los listados con las imágenes de los vídeos.

La utilización de los dos distanciómetros ha permitido obtener dos medidas paralelas de la separación durante la maniobra, una desde cada extremo de la bici. Estas medidas se han tomado en el breve instante en que el coche adelantante ha estado dentro del campo de visión del láser, habiéndose adoptado la menor en el caso de haberse registrado más de una. La separación final se ha determinado como la media de los dos distanciómetros.

Adicionalmente, en el caso de las separaciones durante el adelantamiento (Figura 68) se han considerado las separaciones netas finales entre el extremo del manillar de la bicicleta y el retrovisor del vehículo. Para llegar a esa magnitud se han aplicado las siguientes correcciones a la distancia de separación “bruta” facilitada por los distanciómetros:

- Sumar el vuelo de los distanciómetros respecto al eje de la bici y que fue de 7 cm para el distanciómetro 1 (delantero) y 0 cm para el 2 (trasero).
- Restar 30 cm correspondientes a la longitud del manillar en el caso de la bicicleta de montaña ó 21 cm en el caso de la bicicleta de carretera.

- Restar el vuelo respecto a la chapa del vehículo de los retrovisores y que, en base a la información disponible sobre dimensiones de diferentes tipos de vehículos se estimó en:
 - Ligeros: 12 cm
 - Todoterrenos y furgonetas pequeñas: 15 cm
 - Furgonetas grandes y camionetas: 18 cm
 - Camiones: 0 cm (el vuelo del retrovisor queda por encima del ciclista)

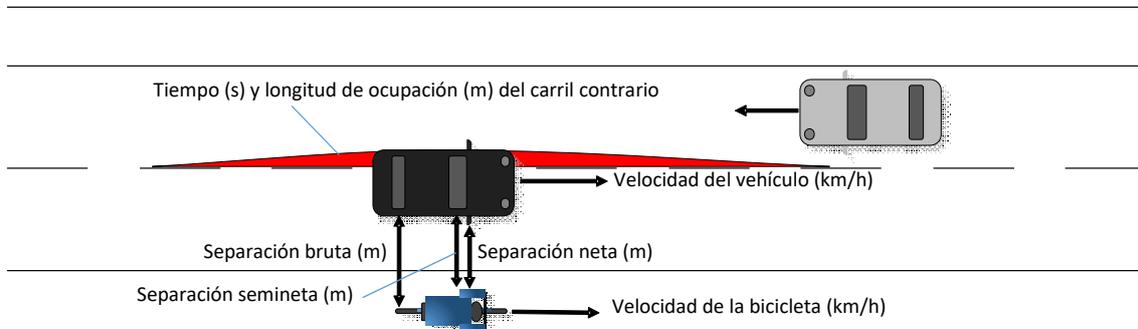


Figura 68. Principales variables vinculadas al adelantamiento.

Previamente a la revisión de las imágenes de los vídeos se ha procedido a la sincronización y coordinación de los vídeos grabados por la cámara trasera GO-PRO, y en los que sólo se recoge la duración de los mismos, con la hora reflejada por el VBOX para cada uno de los recorridos parciales realizados.

Hecho esto, se procedió a revisar los vídeos de las dos cámaras, detectando todos los adelantamientos reales y contrastándolos con los listados de distancias y velocidades para cerrar la correlación entre ellos. Para realizar este trabajo de edición y análisis de las imágenes se empleó el software gratuito de edición KINOVEA.

Igualmente, durante este proceso de contraste se identificaron los detalles de las maniobras de adelantamiento, anotándose, para cada uno de ellos:

- Tipo de vehículo y categoría.
- Tiempo desde que el vehículo es visible hasta el adelantamiento y hasta que desaparece.
- Tiempos de cruce con el opuesto anterior y posterior de existir.
- Ocupación del carril izquierdo y duración si se produce.

Toda esta información se recogió en una hoja de cálculo para su posterior tratamiento.

5 Análisis

A lo largo del presente apartado se procede a realizar el análisis de los datos obtenidos durante las pruebas realizadas.

Para determinar si las diferencias entre los valores obtenidos para los diversos parámetros analizados son estadísticamente significativas, se ha realizado un análisis de varianza ANOVA y se han determinados los valores medios y sus intervalos de incertidumbre en base al test LSD de Fisher para un nivel de confianza del 95%.

5.1 Aspectos generales

Durante el desarrollo de las pruebas se han realizado más de 9.000 capturas. Tras el proceso de visualización de los vídeos grabados, tanto durante la prueba piloto como durante las posteriores salidas, y la depuración de los datos obtenidos eliminando la información errónea o correspondiente a vehículos opuestos, se han seleccionado un total de 3.096 maniobras de adelantamiento. De ellas 1.712 (53,3 %) lo han sido sobre la bicicleta de montaña y 1.384 (47,7 %) sobre la de carretera (Figura 69).

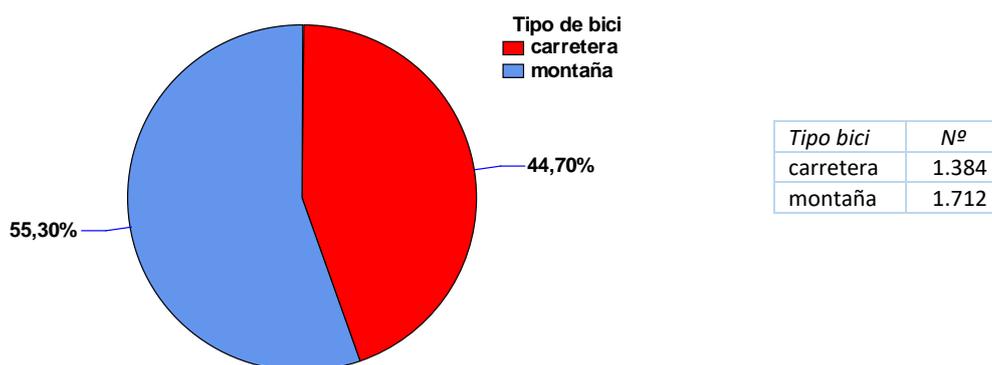


Figura 69. Maniobra por tipo de bicicleta.

Para el análisis de las maniobras se han clasificado los vehículos en cuatro grandes categorías:

- Categoría 1: Vehículos ligeros.
- Categoría 2: Todoterrenos y furgonetas pequeñas.
- Categoría 3: Furgonetas (furgonetas grandes y camionetas).
- Categoría 4: Camiones y autobuses.

El 65,50 % de los adelantamientos han sido realizadas por vehículos ligeros, el 17,76 % por furgonetas pequeñas y todoterrenos, el 9,33 % por furgonetas grandes y camionetas y el 7,40 % por camiones y autobuses.

Su participación en las maniobras de adelantamiento se recoge en la Figura 70.

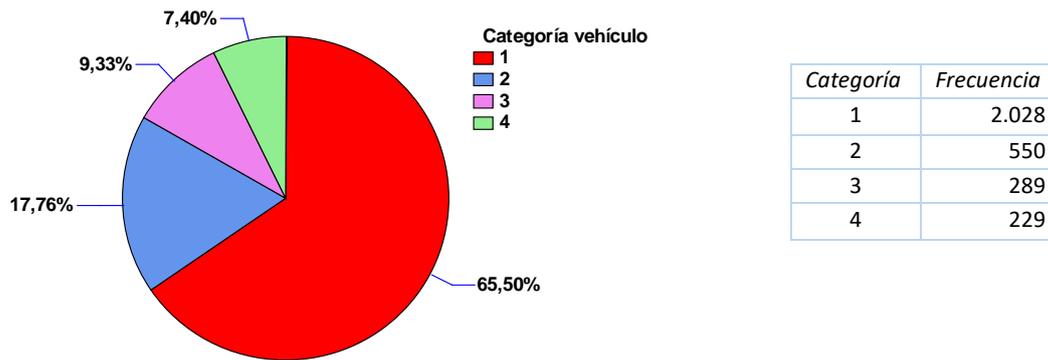


Figura 70. Porcentaje de participación en los adelantamientos

5.2 Separaciones durante el adelantamiento

A continuación, se procede a analizar las separaciones netas recogidas durante las maniobras de adelantamiento. Esta separación es la existente entre el lateral del cuerpo del ciclista y el borde del retrovisor del vehículo adelantante, salvo en el caso de adelantamientos de camiones en los que el retrovisor queda por encima del cuerpo del ciclista. Se trata, por tanto, de la menor separación durante la maniobra y la que mayor riesgo de impacto implica.

5.2.1 Análisis general

Tomando en consideración la totalidad de los adelantamientos se comprueba que la separación neta durante la maniobra de adelantamiento oscila entre un mínimo de 0,48 m y un máximo de 3,43 m, con un valor medio de 1,66 m (Figura 71 y Figura 72).

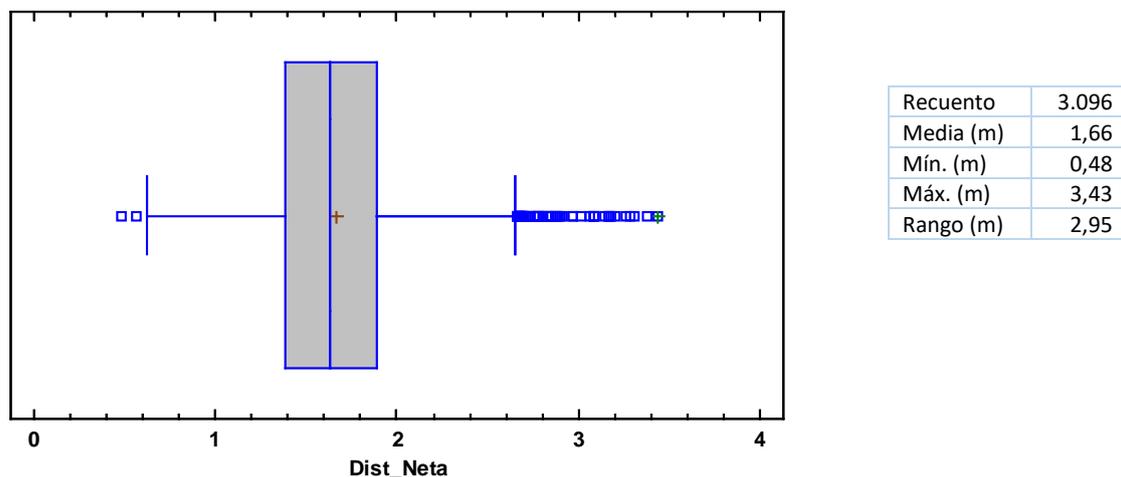


Figura 71. Separación neta durante el adelantamiento.

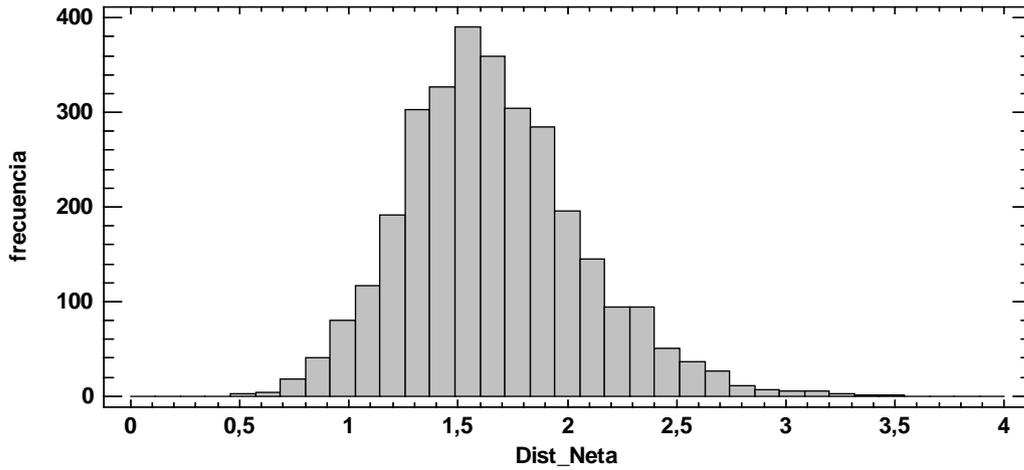


Figura 72. Gráfico de frecuencias de la separación neta.

Como puede apreciarse en la Figura 73, el percentil 85 se sitúa por encima de los 2 m de separación.

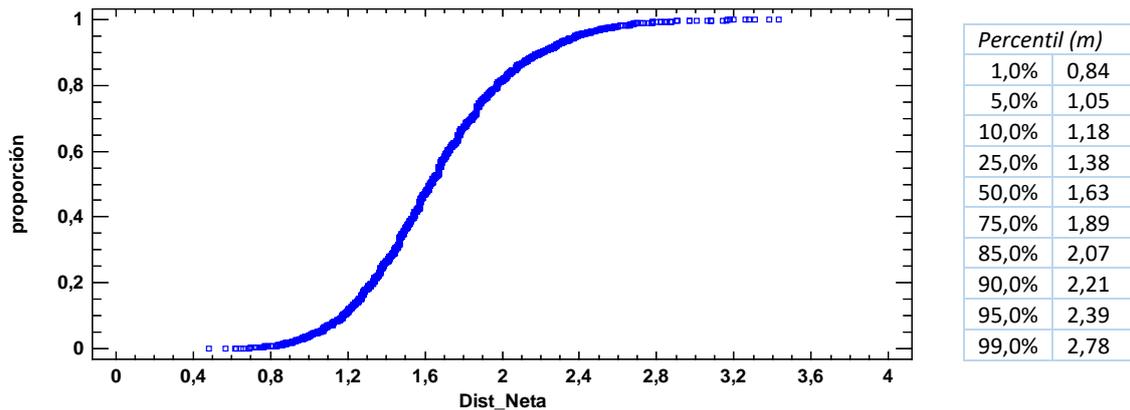


Figura 73. Gráfico de cuantiles de la separación neta.

Si distinguimos entre tipo de bicicletas (Tabla 23) se aprecia que la separación en el caso de los adelantamientos realizados a bicicleta de montaña es algo mayor, unos 8 cm, que en el caso de los realizados a bicicleta de carretera.

Tipo bici	Nº	Media (m)	Mín. (m)	Máx. (m)
carretera	1.384	1,62	0,57	3,26
montaña	1.712	1,70	0,48	3,43

Tabla 23. Separación neta según tipo de bicicleta.

En la Figura 74 se recogen las separaciones en función del tipo de bicicleta. Puede apreciarse como, en base al test LSD de Fisher para un nivel de confianza del 95%, existe una diferencia estadísticamente significativa en la separación neta durante el adelantamiento atendiendo al tipo de bicicleta adelantada, de carretera o de montaña.

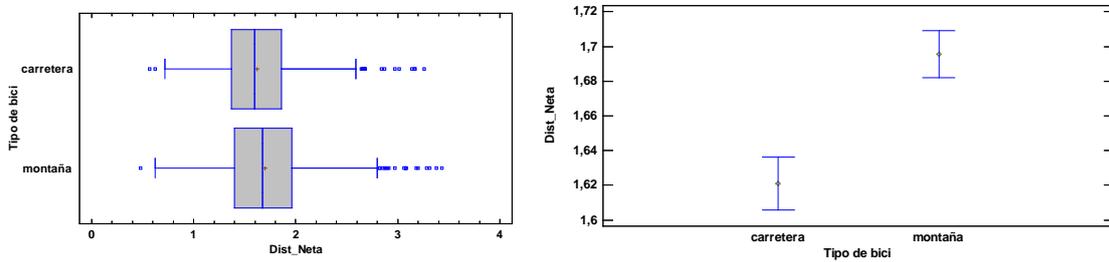


Figura 74. Separación neta en función del tipo de bicicleta.

Por otra parte, en la Tabla 24 y en la Figura 75 se recogen las separaciones atendiendo a la categoría de los vehículos.

Separación neta (m)				
Categoría	Nº	Medio	Mín.	Máx.
1	2.028	1,66	0,48	3,38
2	550	1,64	0,63	3,14
3	289	1,63	0,66	3,26
4	229	1,75	0,69	3,43

Tabla 24. Separaciones netas según categoría de vehículo.

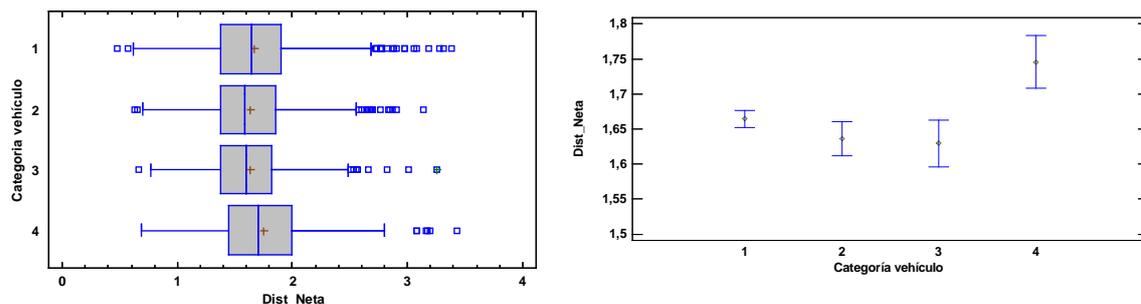


Figura 75. Separación neta según categorías de vehículos.

Como puede apreciarse, los vehículos ligeros y los camiones son los vehículos que mayor separación media mantienen, mientras que los todoterrenos, furgonetas y camionetas son los que menos separación presentan.

En relación con el tipo de vehículo adelantante, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las separaciones mantenidas por los coches, furgonetas y camiones pequeños. Por el contrario, sí que se aprecia una diferencia significativa en el caso de la separación neta

media mantenida por los camiones respecto al resto de vehículos. Es decir, se aprecia un comportamiento diferenciado entre los vehículos ligeros y los pesados.

Por carreteras, y distinguiendo el tipo de bicicleta, se han obtenido las separaciones medias recogidas en la Tabla 25.

<i>Separación neta (m) por carretera</i>				
<i>Carretera</i>	<i>nº</i>	<i>Media</i>	<i>Mín.</i>	<i>Máx.</i>
Bétera	490	1,47	0,57	3,38
Casinos	264	1,66	0,76	3,43
Cheste	162	1,68	0,85	3,28
N225	243	1,81	0,81	3,20
Náquera	370	1,90	0,69	3,06
Pedralba	203	1,53	0,63	3,31
Portaceli	307	1,67	0,85	3,14
Torrent	1.057	1,65	0,48	3,18

<i>Separación neta (m) por tipo bici</i>				
<i>Carretera_bici</i>	<i>nº</i>	<i>Media</i>	<i>Mín.</i>	<i>Máx.</i>
Bétera_CAR	260	1,49	0,57	2,37
Bétera_MTB	230	1,46	0,69	3,38
Casinos_CAR	84	1,84	0,95	3,17
Casinos_MTB	180	1,57	0,76	3,43
Cheste_MTB	162	1,68	0,85	3,28
N225_CAR	73	1,78	0,87	3,01
N225_MTB	170	1,82	0,81	3,20
Naquera_CAR	188	1,68	0,93	2,67
Naquera_MTB	182	2,14	0,69	3,06
Pedralba_CAR	98	1,55	0,84	3,26
Pedralba_MTB	105	1,51	0,63	3,31
Portaceli_CAR	152	1,68	0,94	3,14
Portaceli_MTB	155	1,65	0,85	2,90
Torrent_CAR	529	1,61	0,72	2,97
Torrent_MTB	528	1,70	0,48	3,18

Tabla 25. Separación media por carreteras y tipo de bicicleta.

Como puede verse en la Figura 76, algunas carreteras presentan valores significativamente diferentes respecto a otras. Es el caso de la carretera de Náquera (CV-315) y la N-225. La primera de ellas presenta las mayores separaciones durante el adelantamiento, consecuencia del hecho de presentar un arcén amplio, de 2,50 m, coloreado para el uso de ciclistas. La segunda de ella se corresponde con la carretera de mayor rango jerárquico de todas las estudiadas, con plataforma amplia 7/10, y tráfico de largo recorrido con altas velocidades.

Igualmente, se muestran también como significativas las menores separaciones netas medias obtenidas en las carreteras de Bétera (CV-310) y Pedralba (CV-376). La primera dispone de carriles de 3,15 m y arcenes de 1,50 m coloreados, mientras que la segunda dispone de carriles de 3,25 m y arcenes de 0,50 m, siendo la carretera con la plataforma más estrecha de las ocho estudiadas.

Finalmente, las carreteras de Torrent (CV-405), Casinos (CV-3505), Portaceli (CV-333) y Cheste (CV-50) presentan valores de la separación neta media situados en un escalón intermedio entre los mínimos y los máximos comentados, no siendo significativamente diferentes entre ellos. Se trata de carreteras que disponen de carriles de 3,50 m y arcenes de 1,50-1,60 m salvo la CV-333, en Portaceli, que presenta una sección transversal con carriles de 3,05 m y arcenes de 1,10 m.

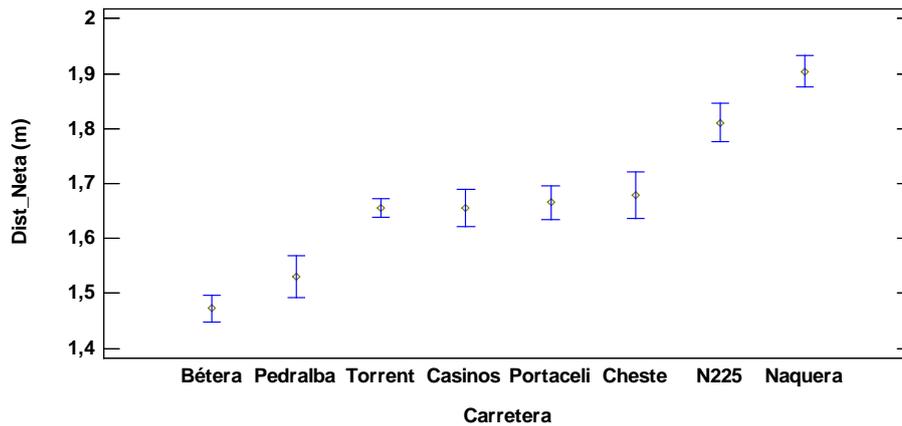


Figura 76. Separación neta media según carreteras.

5.2.2 Ajuste estadístico

El análisis de los datos obtenidos para las separaciones durante el adelantamiento pone de manifiesto un cierto ajuste estadístico a una distribución normal, siendo mucho mejor su ajuste a una distribución Loglogística de 3 parámetros. Este ajuste se produce considerando de manera separada cada carretera y tipo de bicicleta.

No obstante, si se considera el conjunto de los datos, los valores obtenidos se ajustan únicamente a una distribución Loglogística de 3 parámetros, no así a la normal (Tabla 26).

Distribuciones Ajustadas	
Loglogística (3-Parámetros)	Normal
mediana = 2,38202	media = 1,66222
forma = 0,09508	desviación estándar = 0,40856
umbral inferior = -0,752543	

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Distancia_Neta		
Prueba de Kolmogorov-Smirnov		
	Loglogística (3-Parámetros)	Normal
DMAS	0,0146923	0,047091
DMENOS	0,0176008	0,0219584
DN	0,0176008	0,047091
Valor-P	0,294204	0,00000217602

Tabla 26. Ajuste de distribuciones estadísticas para la separación neta.

En la Figura 77 se observa el histograma correspondiente a la separación neta junto con las distribuciones ajustadas.

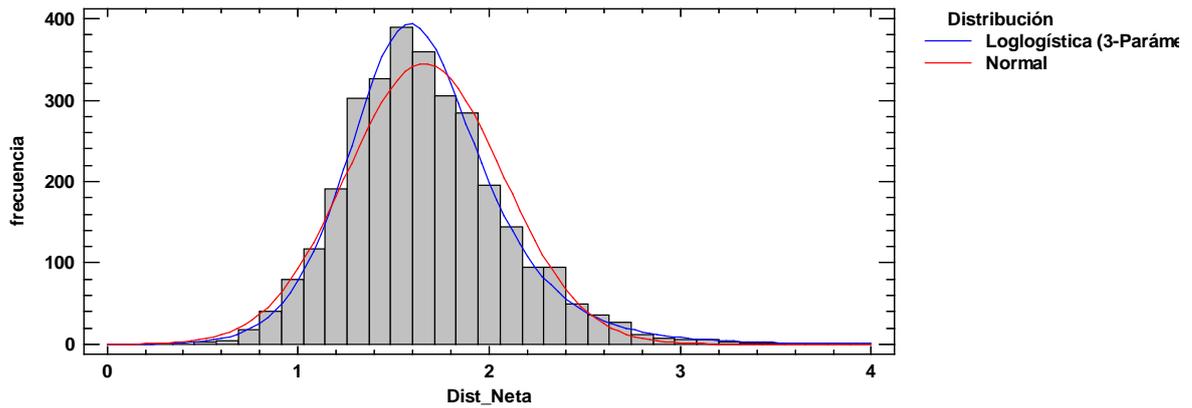


Figura 77. Histograma y ajuste de distribuciones para la separación neta.

5.2.3 Separación semineta

Al margen de la separación neta analizada anteriormente, se han determinado también las separaciones seminetas durante la maniobra de adelantamiento. Estas separaciones determinan las distancias mínimas entre la superficie lateral del vehículo adelantante y el ciclista, siendo la separación que en la práctica percibe el conductor con más facilidad cuando adelanta dado que, en muchas ocasiones puede no ser consciente de la incidencia adicional que supone el vuelo del retrovisor. Igualmente, esta separación constituye la referencia a la hora de establecer los efectos aerodinámicos durante la maniobra dado que refleja la separación entre las superficies de ambos.

La distancia semineta media obtenida (Figura 78) es de 1,79 m, por tanto, 13 cm superior a la neta (Figura 79).

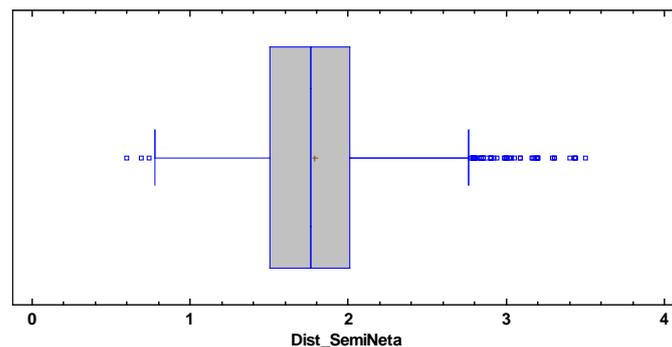


Figura 78. Separación semineta media.

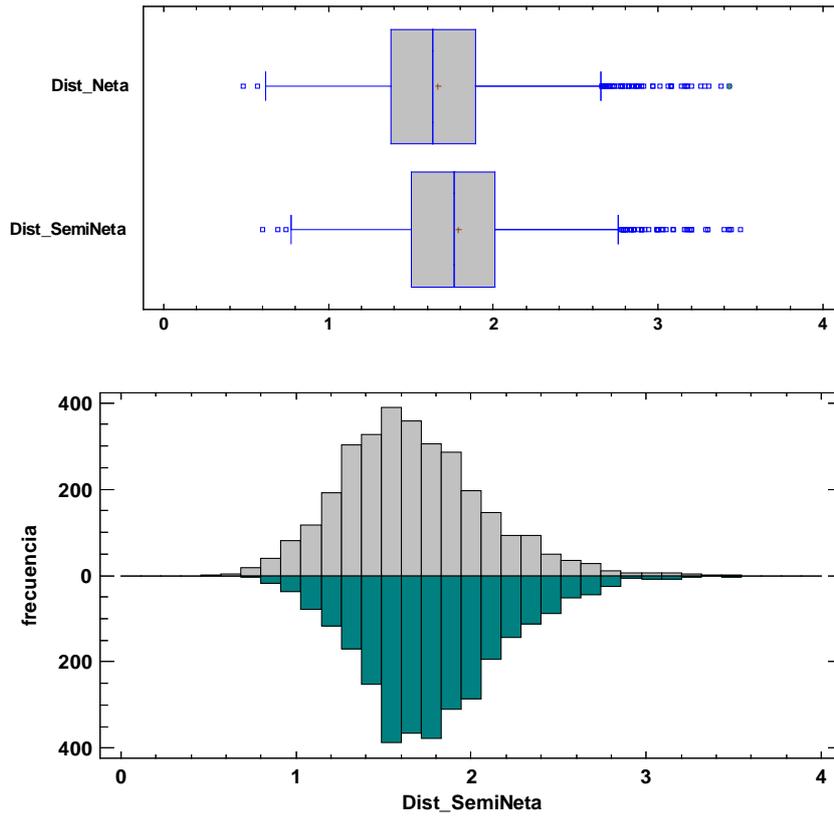


Figura 79. Separación neta frente a semineta.

Al igual que en el caso de las separaciones netas, existe una diferencia significativa, aunque reducida en valor absoluto (Figura 80) al considerar el adelantamiento sobre bicicleta de carretera y de montaña, siendo de 1,75 m frente a 1,82 m respectivamente.

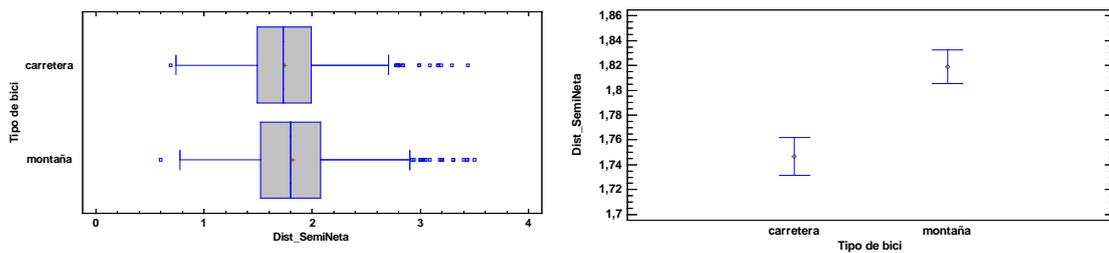


Figura 80. Separación semineta según tipo de bicicleta.

La separación semineta media en función del tipo de vehículo adelantante (Figura 81) refleja valores en torno a la media en los cuatro tipos considerados. No existe, por contra, una diferencia sensible en la separación semineta media, circunstancia que sí se da en el caso de las separaciones netas, en las cuales sí que existe una diferencia significativa en el caso de los vehículos de tipo 4, camiones y autobuses. Esto es debido a que la diferencia entre separaciones netas no contempla una deducción por la longitud del retrovisor de los camiones al volar éste por encima de la cabeza del ciclista.

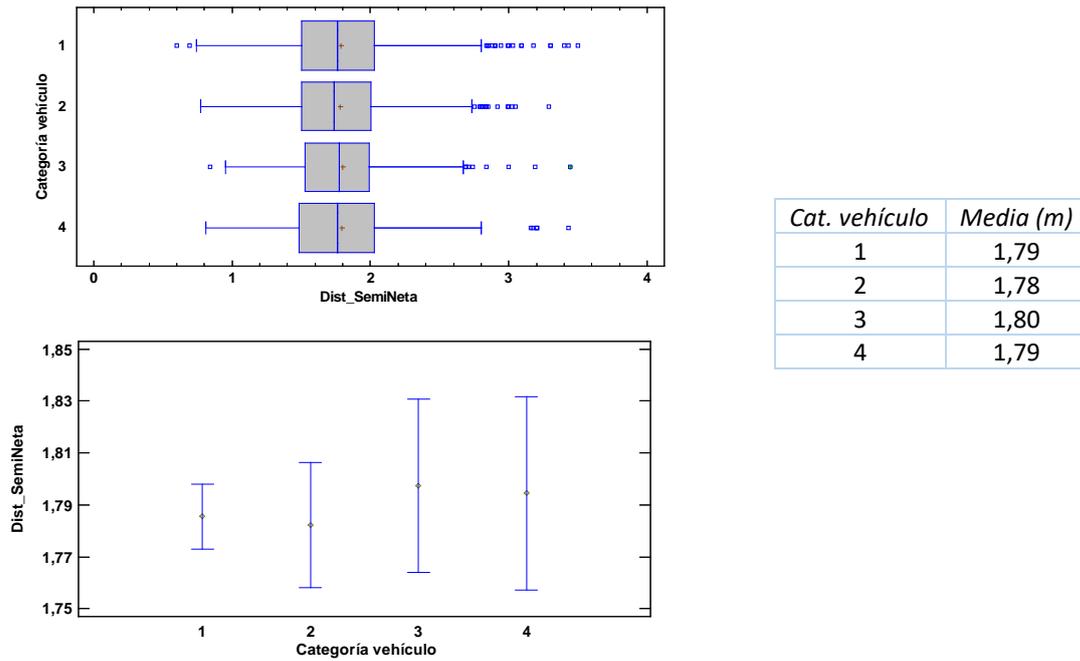


Figura 81. Separación semineta media según tipo de vehículo.

5.3 Velocidades durante el adelantamiento

5.3.1 Análisis general

Respecto a las velocidades de los vehículos adelantantes medidas durante el adelantamiento (Figura 82) tomando en como referencia la totalidad de las maniobras, se ha comprobado que la media de los valores registrados ha sido de 75,3 km/h, con un valor mínimo de las observaciones de 21,5 km/h y un máximo de 144,1 km/h.

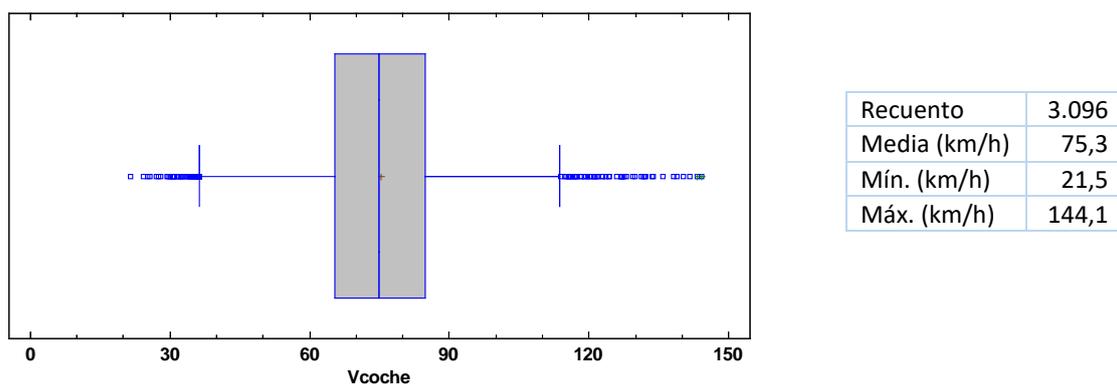


Figura 82. Velocidad media de los vehículos adelantantes.

En la Figura 83 y la Figura 84 se recogen el histograma de velocidades de adelantamiento y la distribución por percentiles. Se aprecia que el percentil 85 se sitúa en 91 km/h.

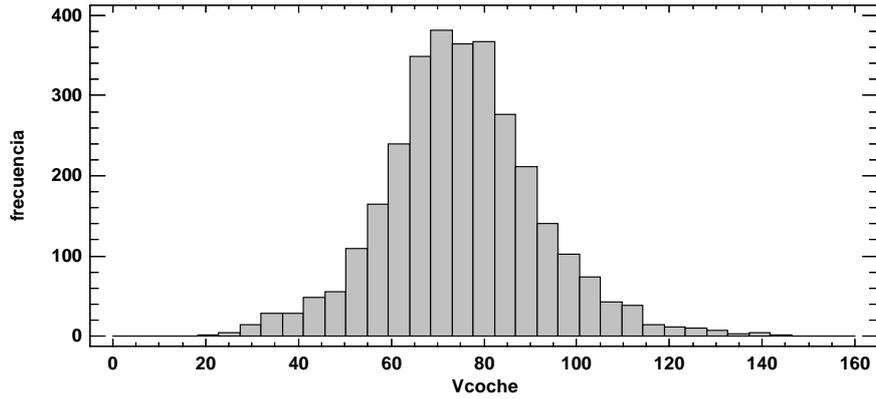
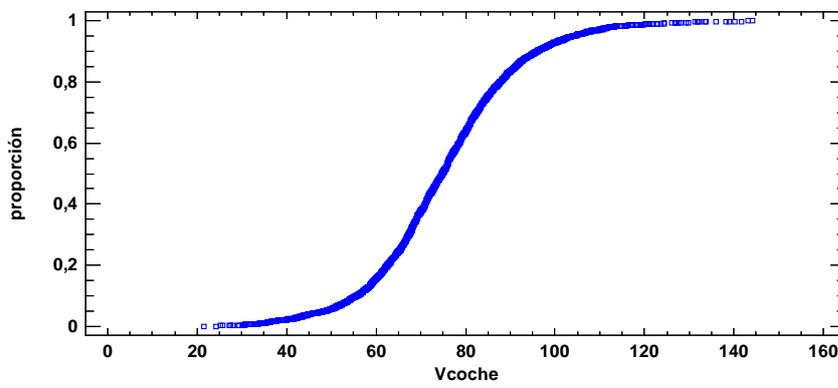


Figura 83. Histograma de velocidades durante el adelantamiento.



Percentil	(km/h)
1,0%	34,9
5,0%	48,7
10,0%	55,7
25,0%	65,4
50,0%	74,8
75,0%	84,8
85,0%	91,0
90,0%	96,0
95,0%	104,0
99,0%	121,3

Figura 84. Percentiles de las velocidades de adelantamiento.

Atendiendo al tipo de bicicleta (Tabla 27) la velocidad es algo superior en el caso de adelantamientos a bicicletas de montaña.

Tipo de bici	Recuento	Media (km/h)	Mín. (km/h)	Máy. (km/h)
carretera	1.384	74,2	25,6	144,1
montaña	1.712	76,2	21,5	141,5
Total	3.096	75,3	21,5	144,1

Tabla 27. Velocidades según tipo de bicicleta.

En la Figura 85 puede apreciarse como existe una diferencia significativa en la velocidad durante el adelantamiento atendiendo al tipo de bicicleta adelantada, de carretera o de montaña, aunque en valor absoluto es de unos escasos 2 km/h.

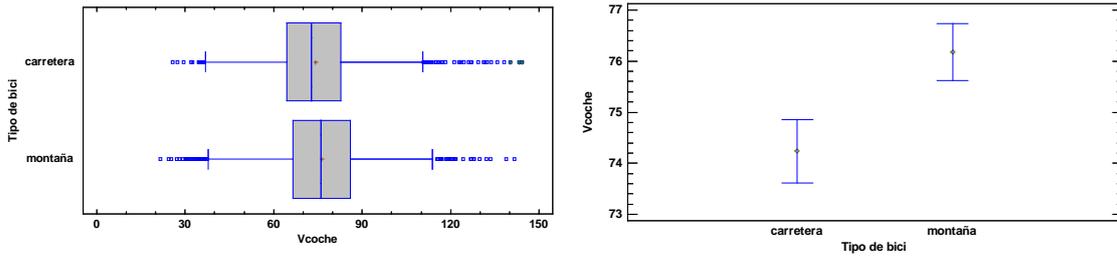


Figura 85. Velocidades medias de adelantamiento según tipo de bicicleta.

Si atendemos a las categorías de los vehículos (Tabla 28 y Figura 85) los vehículos ligeros y las furgonetas grandes son los que mayor velocidad media mantienen durante el adelantamiento, mientras que los camiones son los que menor velocidad desarrollan. No obstante, la diferencia entre unas y otras no es muy alta, 4,5 km/h.

Categoría	Recuento	Media (km/h)	Mín. (km/h)	Máx. (km/h)
1	2.028	76,2	25,3	143,3
2	550	74,0	21,5	144,1
3	289	74,4	30,7	140,3
4	229	71,7	30,5	116,5
Total	3.096	75,3	21,5	144,1

Tabla 28. Velocidades medias según tipo de vehículo.

Igualmente, en la Figura 86 puede apreciarse cómo existe una diferencia significativa entre la velocidad media de los vehículos de Tipo 1 (vehículos ligeros), de Tipo 2 y 3 (todoterrenos, furgonetas y camionetas), y de Tipo 4 (camiones y autobuses).

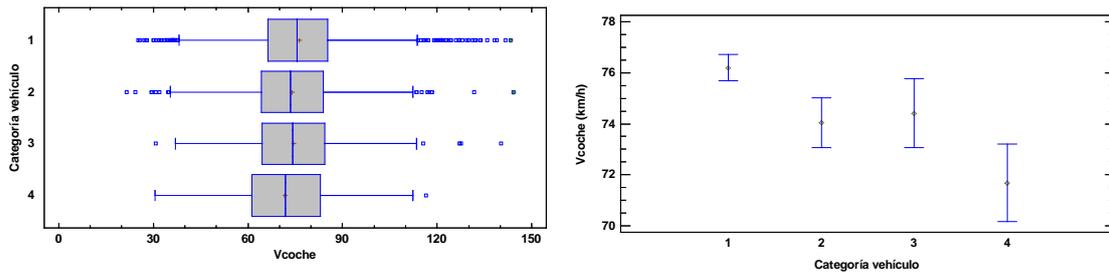


Figura 86. Velocidades medias según tipo de vehículo.

En la Tabla 29 se recogen las velocidades medias por carreteras y tipos de bicicletas.

Velocidad media (km/h) por carretera				
Carretera	nº	Media	Mín.	Máx.
Bétera	490	71,7	30,1	135,9
Casinos	264	70,2	21,5	127,0
Cheste	162	76,9	33,2	107,0
N225	243	93,6	47,2	144,1
Náquera	370	73,2	29,5	143,3
Pedralba	203	70,2	33,8	140,3
Portaceli	307	81,3	29,3	141,6
Torrent	1.057	73,8	25,3	133,6
Total	3.096	75,3	21,5	144,1

Velocidad media (km/h) por tipo bici				
Carretera_bici	nº	Media	Mín.	Máx.
Bétera_CAR	260	72,0	37,5	135,9
Bétera_MTB	230	71,3	30,1	129,8
Casinos_CAR	84	71,1	27,4	113,0
Casinos_MTB	180	69,7	21,5	127,0
Cheste_MTB	162	76,9	33,2	107,0
N225_CAR	73	97,6	52,5	144,1
N225_MTB	170	91,9	47,2	121,8
Náquera_CAR	188	72,5	29,5	143,3
Náquera_MTB	182	73,9	30,1	138,9
Pedralba_CAR	98	70,6	35,3	140,3
Pedralba_MTB	105	69,7	33,8	126,9
Portaceli_CAR	152	83,5	32,4	123,0
Portaceli_MTB	155	79,2	29,3	141,6
Torrent_CAR	529	71,2	25,6	127,1
Torrent_MTB	528	76,4	25,3	133,6
Total	3.096	75,3	21,5	144,1

Tabla 29. Velocidades medias por carreteras y tipo de bicicleta.

En la Figura 87 se aprecia como la carretera N-225 presenta unas velocidades medias durante la maniobra de adelantamiento significativamente mayores. Como se ha indicado con anterioridad, se corresponde con la carretera de mayor rango jerárquico de todas las estudiadas, con plataforma amplia 7/10, y tráfico de largo recorrido que desarrolla altas velocidades.

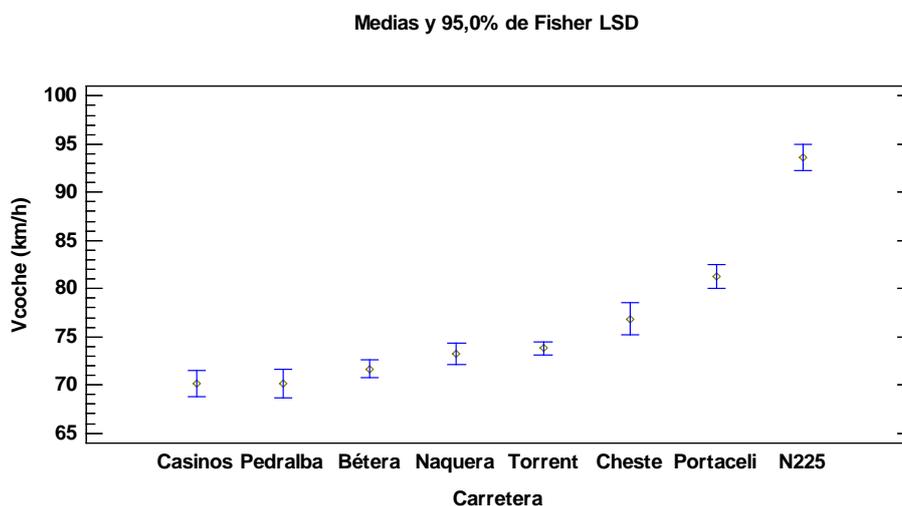


Figura 87. Velocidades medias por carreteras.

5.3.2 Ajuste estadístico

Al igual que en el caso del análisis estadístico de los datos obtenidos para las separaciones durante el adelantamiento, se pone de manifiesto un cierto ajuste a distribución normal, siendo también mucho mejor su ajuste a una distribución Loglogística de 3 parámetros (Tabla 30). Este ajuste se produce tomando de manera separada cada carretera y tipo de bicicleta.

En el caso del conjunto de los datos, y al igual que ocurre con las separaciones netas, los valores obtenidos se ajustan únicamente a la distribución Loglogística de 3 parámetros, no así a la normal.

Distribuciones Ajustadas	
Loglogística (3-Parámetros)	Normal
mediana = 260,332	media = 75,3101
forma = 0,0351989	desviación estándar = 16,671
umbral inferior = -185,567	

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Vcoche

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Loglogística (3-Parámetros)	Normal
DMAS	0,00843452	0,0369612
DMENOS	0,011921	0,0273026
DN	0,011921	0,0369612
Valor-P	0,771128	0,000423939

Tabla 30. Ajuste de distribución estadística para la velocidad de adelantamiento.

Igualmente, en la Figura 88 se recoge el histograma correspondiente a la velocidad de adelantamiento junto con las distribuciones ajustadas.

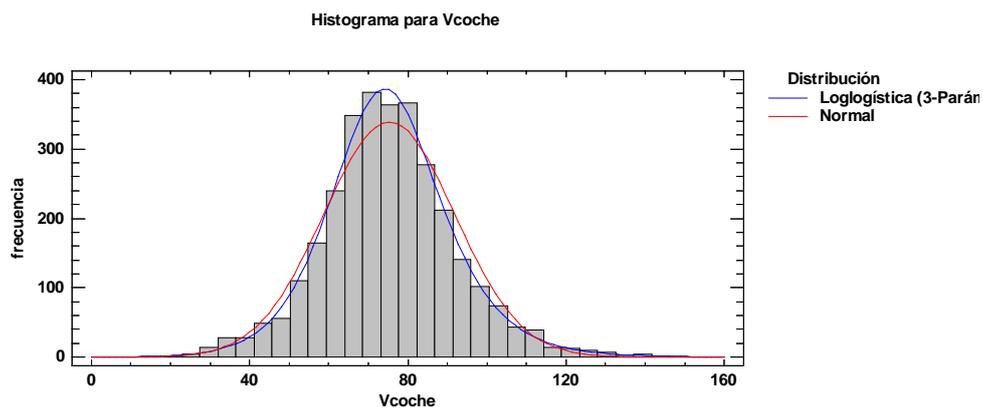


Figura 88. Histograma y distribuciones ajustadas para la velocidad de adelantamiento.

5.3.3 Perfiles de velocidades

Se ha estimado el perfil de velocidades de cada carretera para la V_{85} utilizando como referencia las velocidades de los vehículos opuestos circulando en régimen libre.

De la Figura 89 a la Figura 96, se han representado las velocidades medidas en cada adelantamiento en sentido creciente y decreciente de la kilometración frente al perfil de V_{85} . El perfil V_{85} estimado de cada tramo de carretera se ha determinado utilizando las velocidades reales de los vehículos opuestos circulando en régimen libre y que han sido también recogidas durante los procesos de toma de datos por el velocímetro instalado en la bicicleta instrumentada. Para ello se ha tomado la velocidad de cada opuesto en cada p.k. de la carretera y se ha obtenido el percentil 85 correspondiente al conjunto de valores de la velocidad de ese opuesto y de los cinco anteriores y posteriores. La única excepción a esta metodología la constituye la carretera CV-50, Cheste, en la que se realizó la prueba piloto, y para la que se disponía de los valores reales de V_{85} fruto de investigaciones anteriores.

Como puede observarse, los valores de las velocidades en el momento del adelantamiento se mantienen, de manera generalizada, sensiblemente por debajo del percentil 85 de la velocidad real de los puntos donde se han producido.

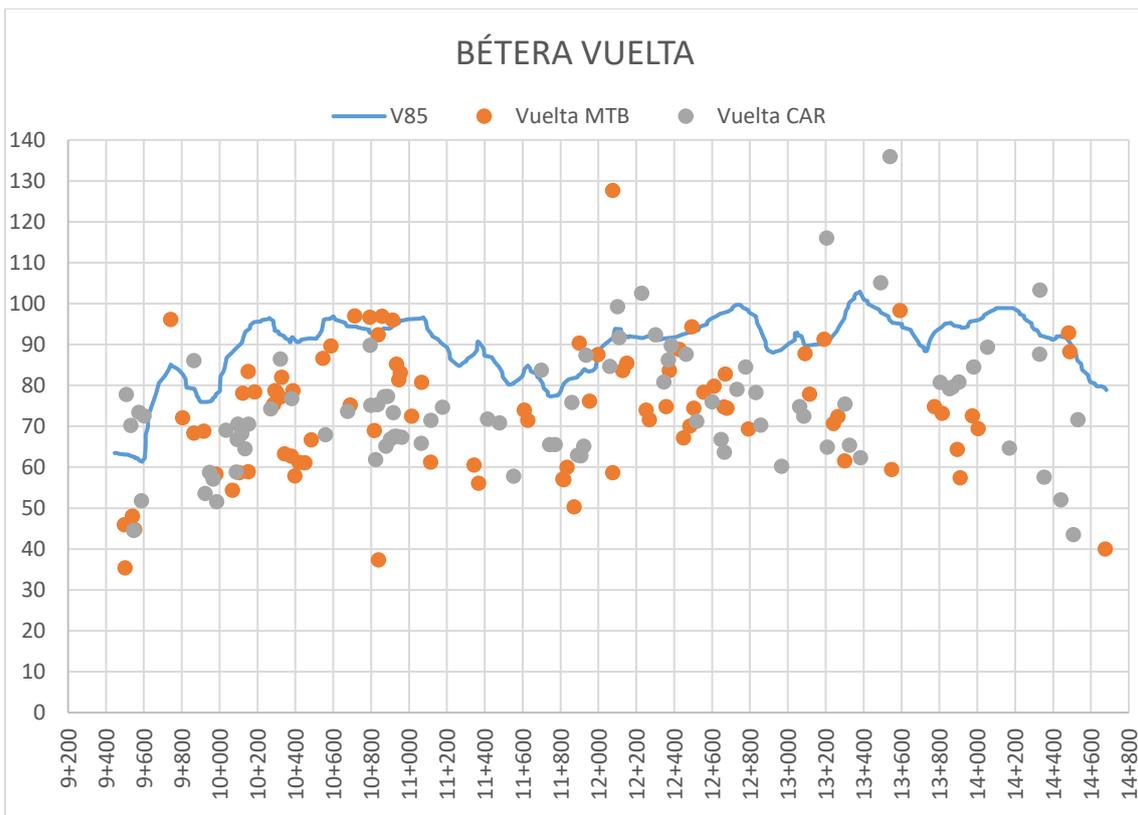
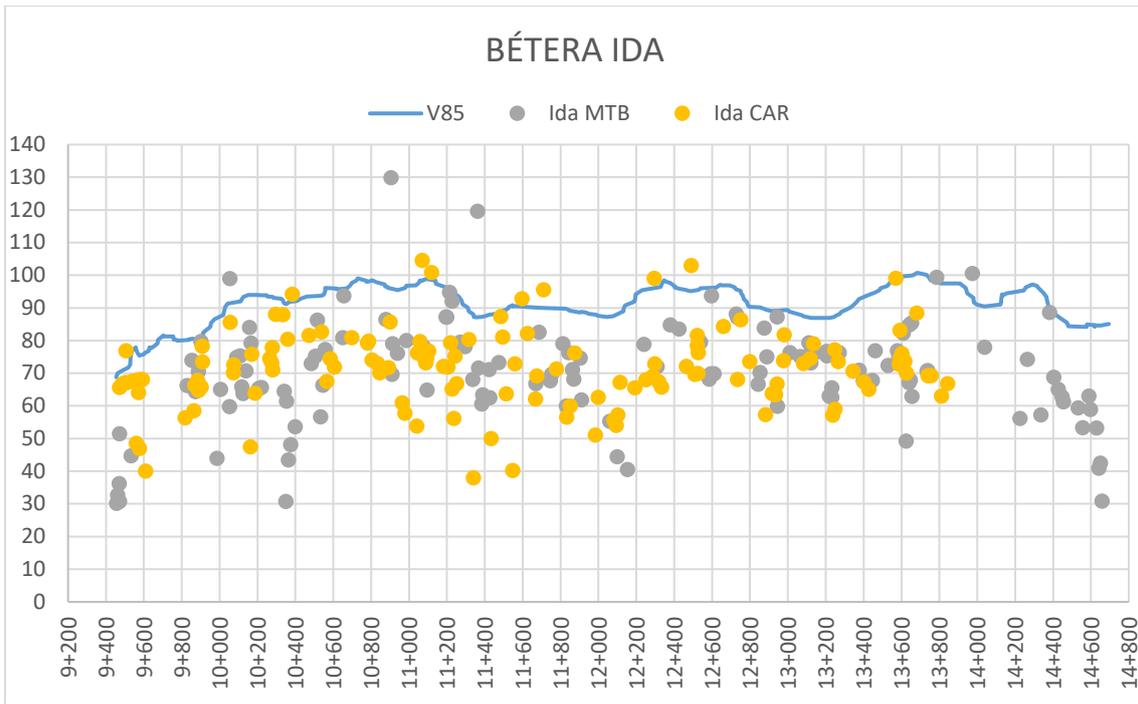


Figura 89. Velocidades adelantamiento frente a V₈₅. Bétera.

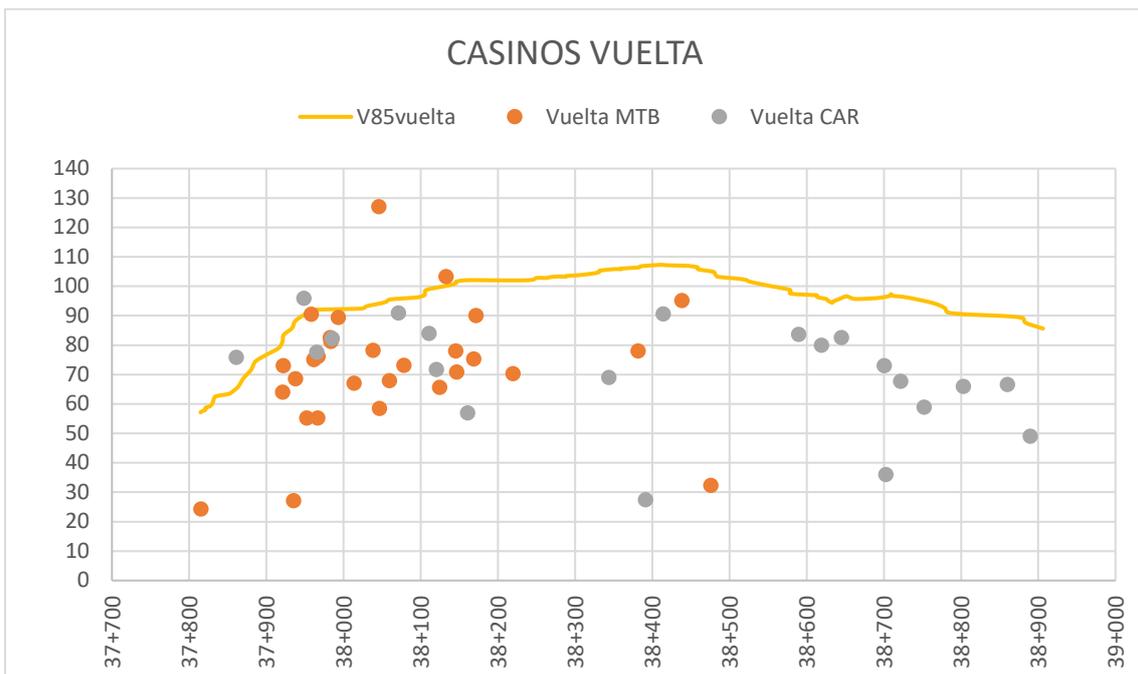
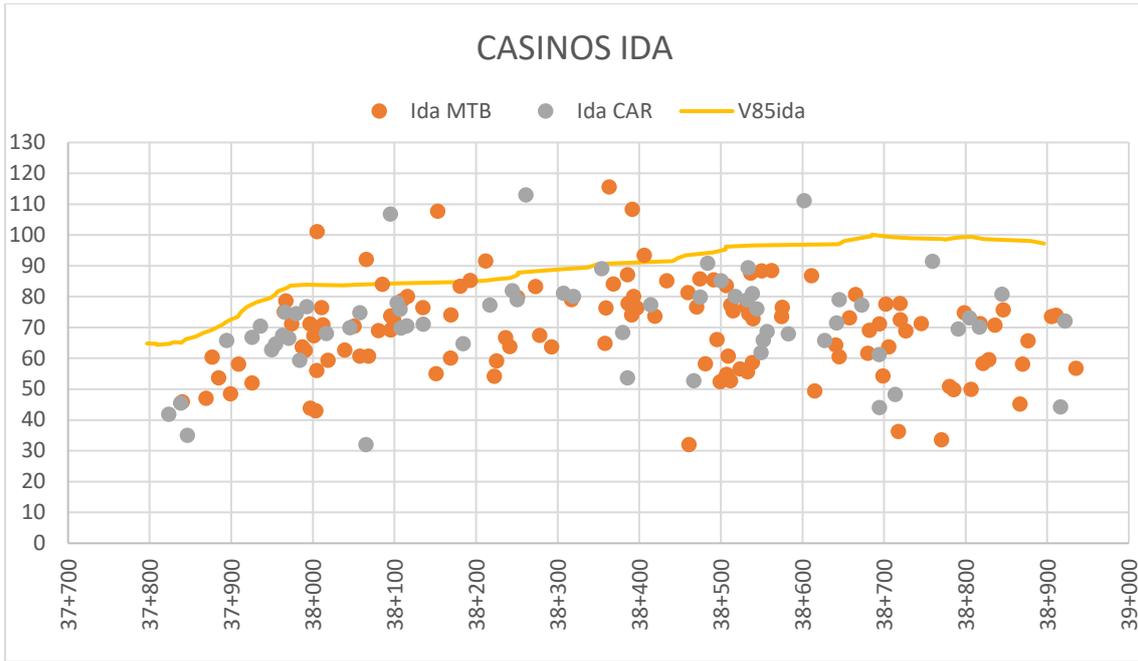


Figura 90. Velocidades adelantamiento frente a V₈₅. Casinos.

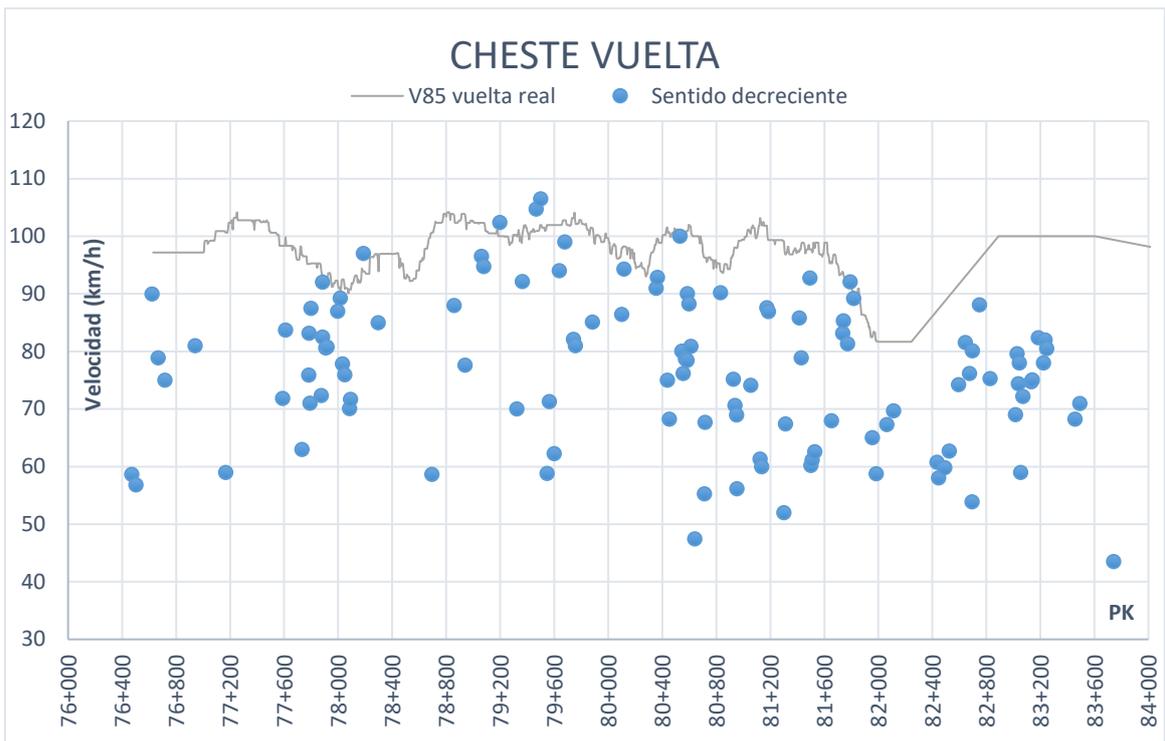
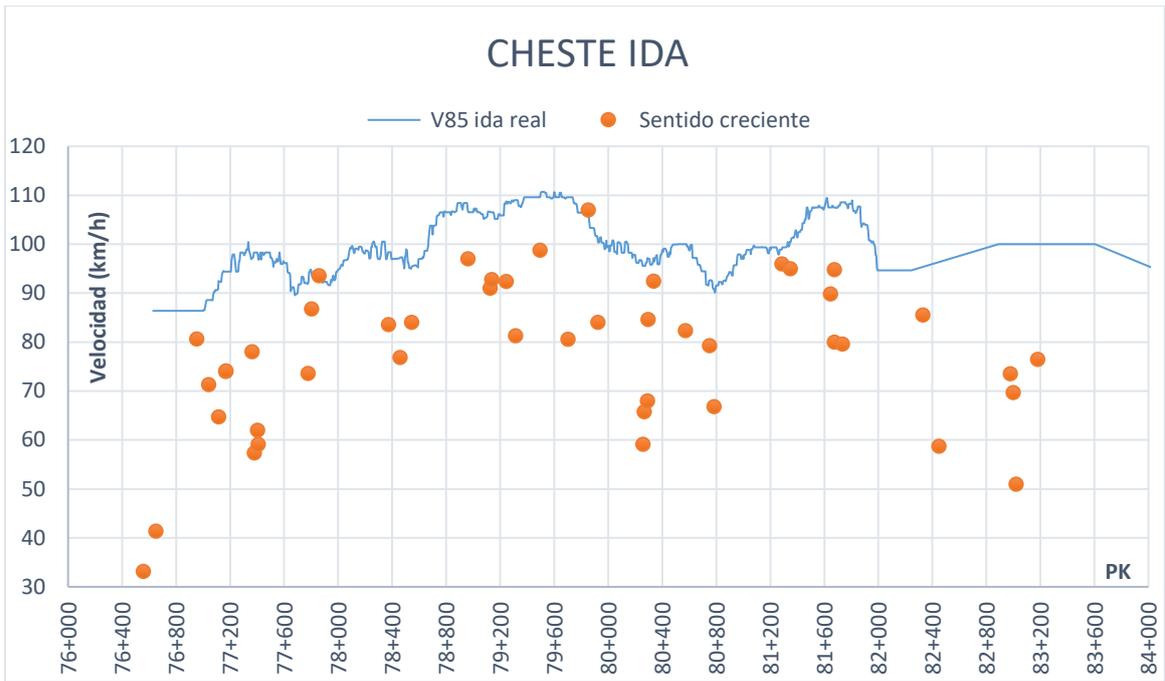


Figura 91. Velocidades adelantamiento frente a V_{85} . Cheste.

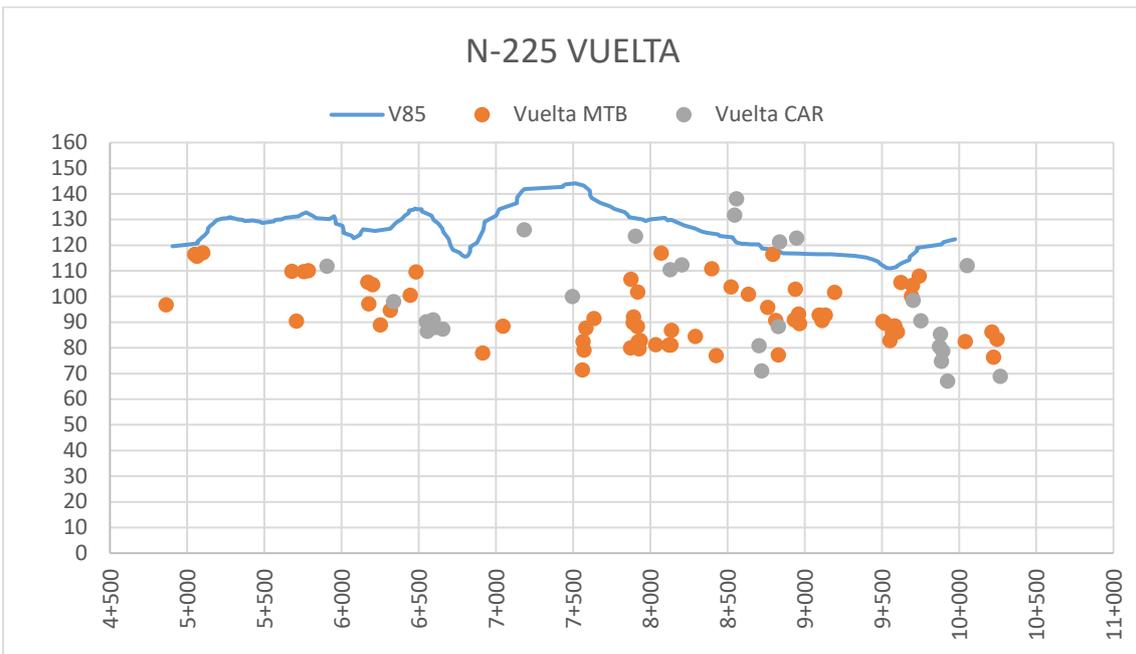
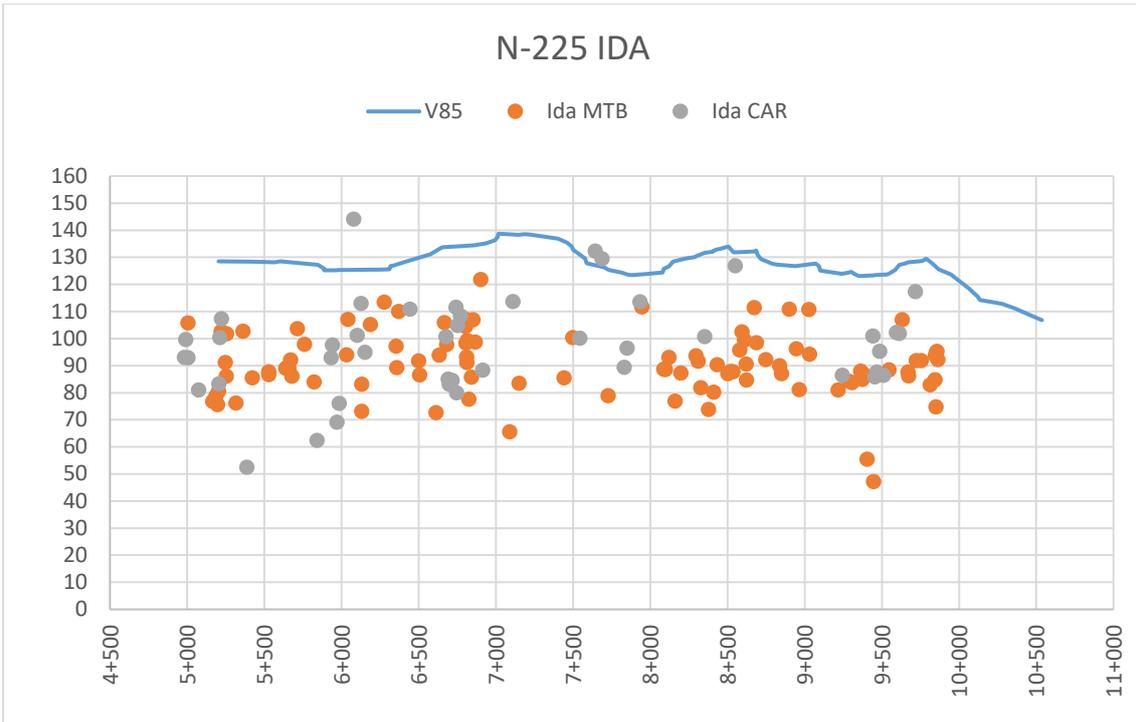


Figura 92. Velocidades adelantamiento frente a V₈₅. N-225.

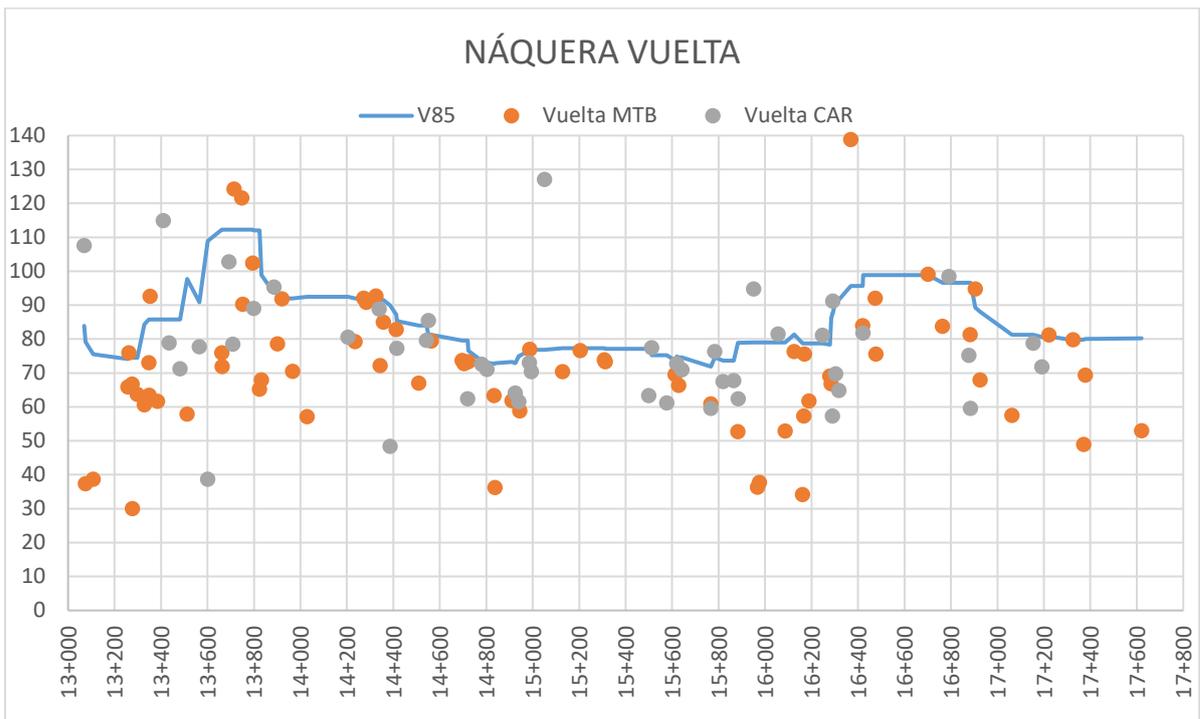
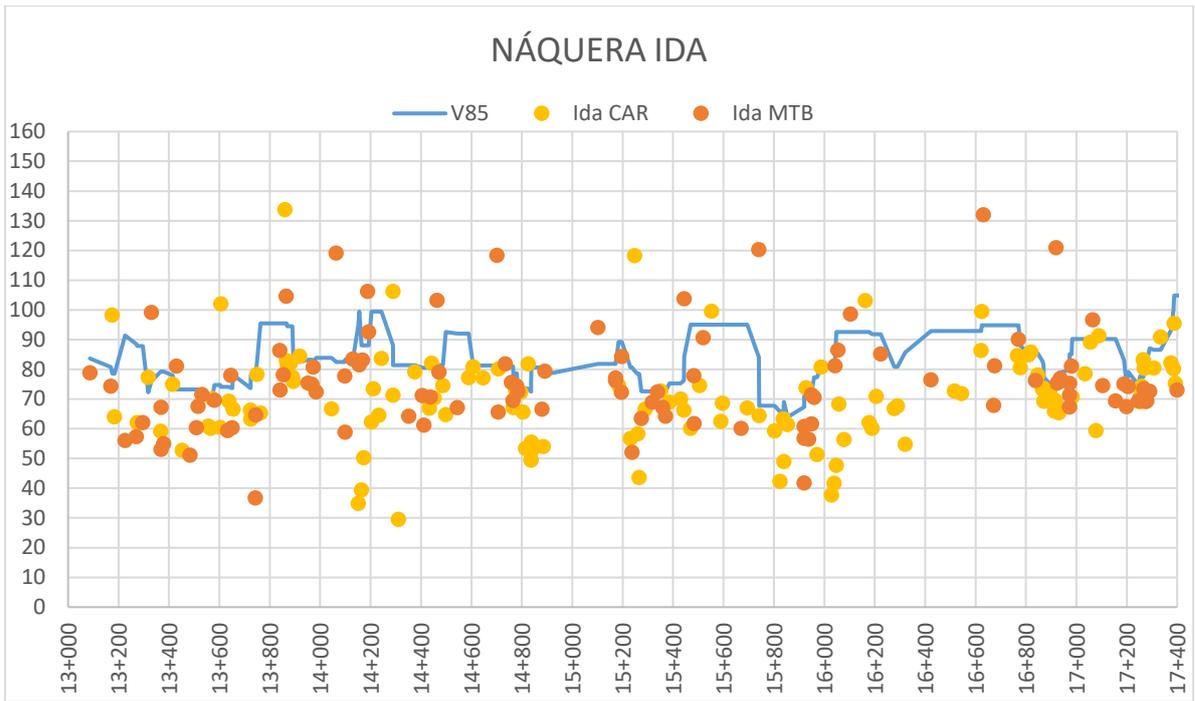


Figura 93. Velocidades adelantamiento frente a V₈₅. Náquera.

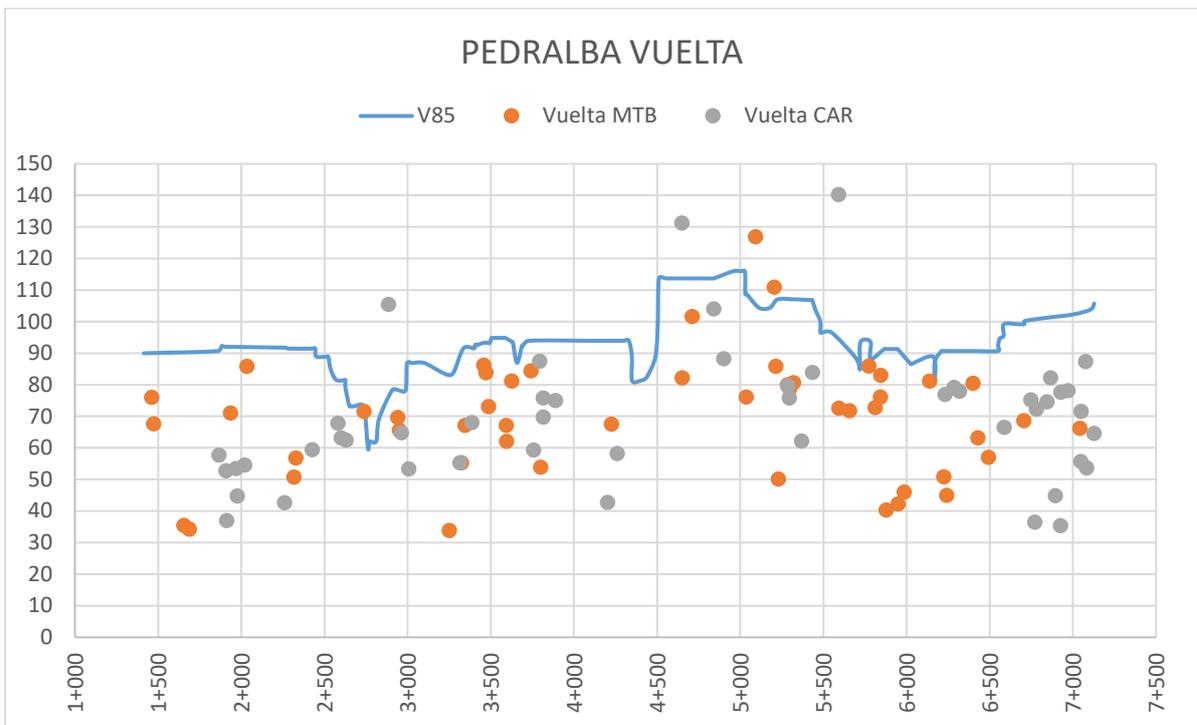
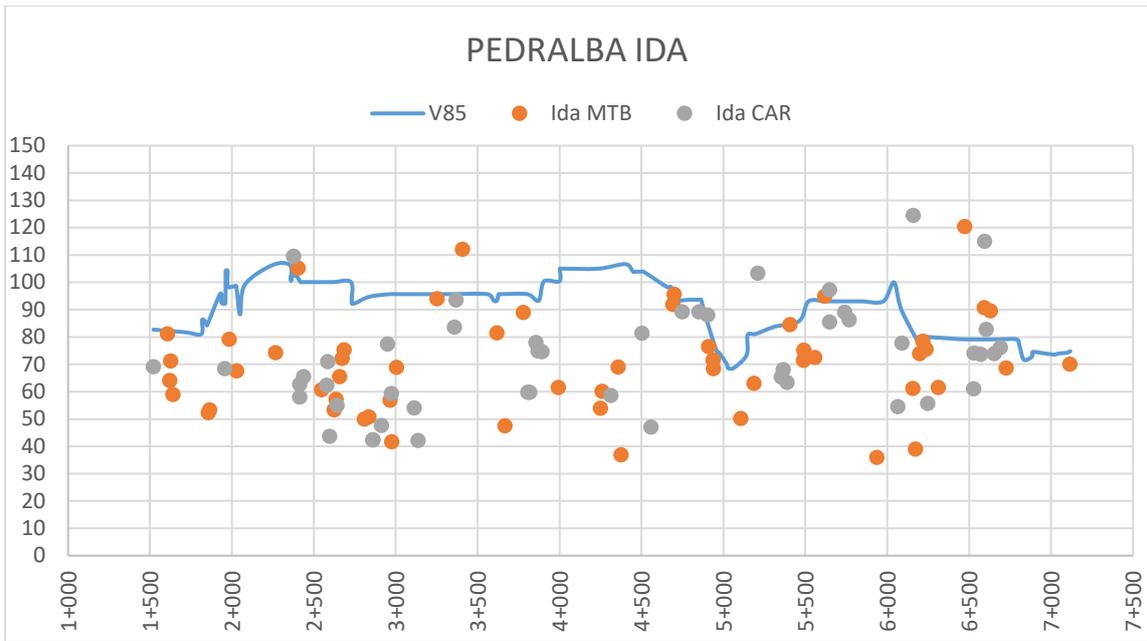


Figura 94. Velocidades adelantamiento frente a V85. Pedralba.

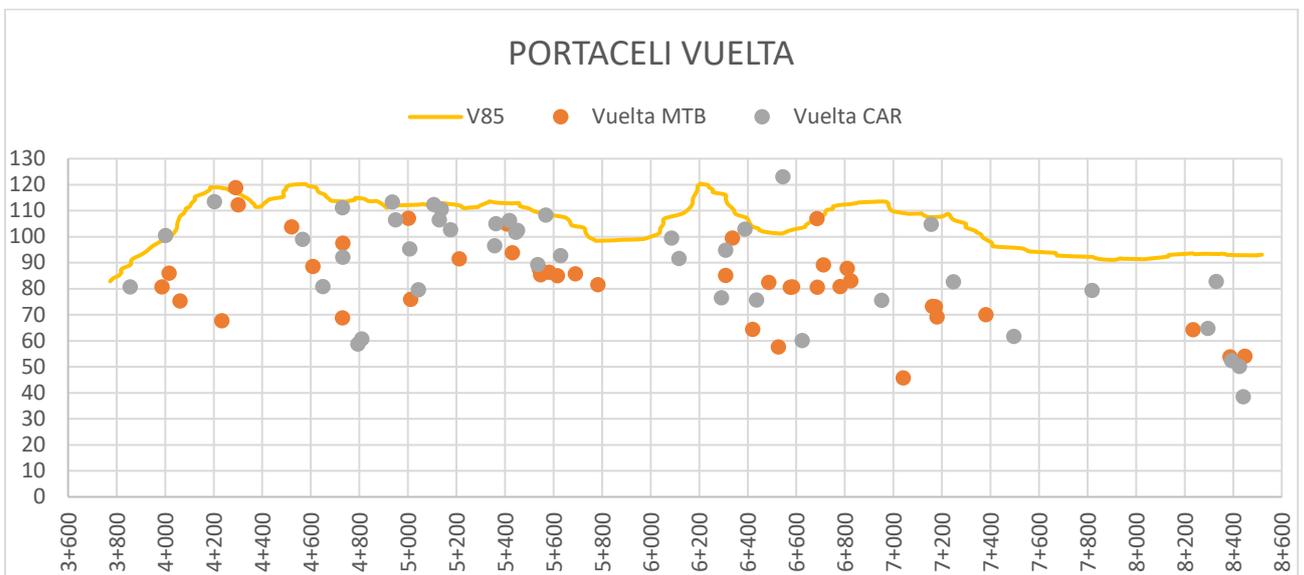
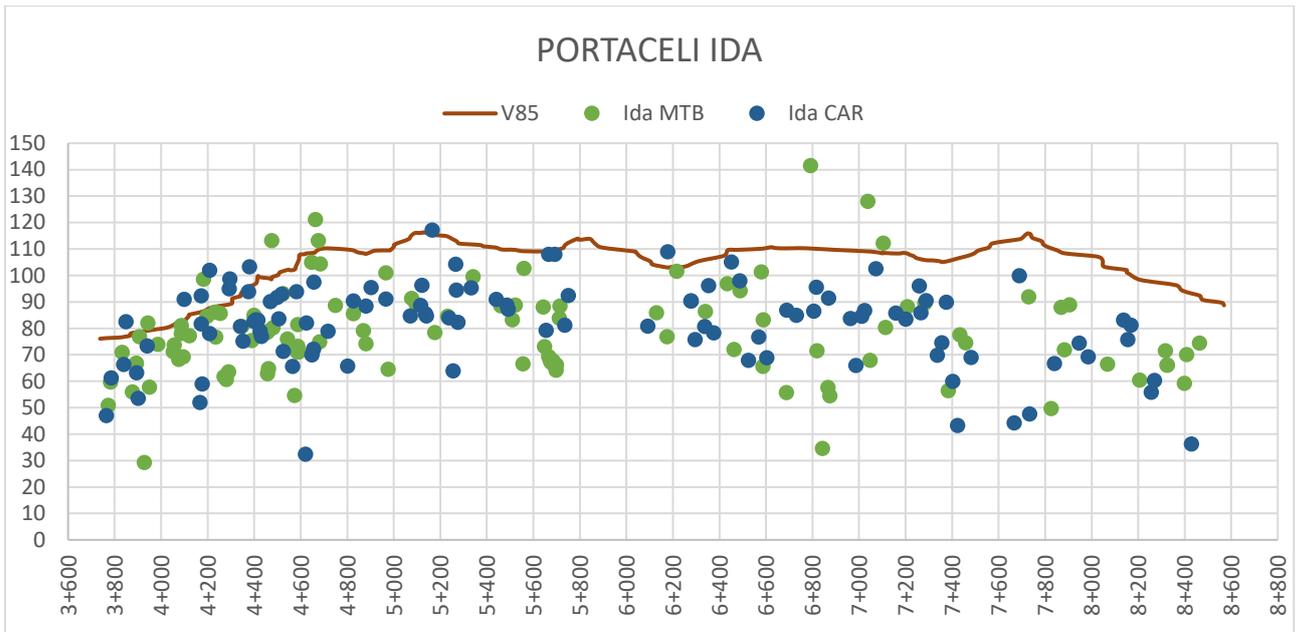


Figura 95. Velocidades adelantamiento frente a V₈₅. Portaceli.

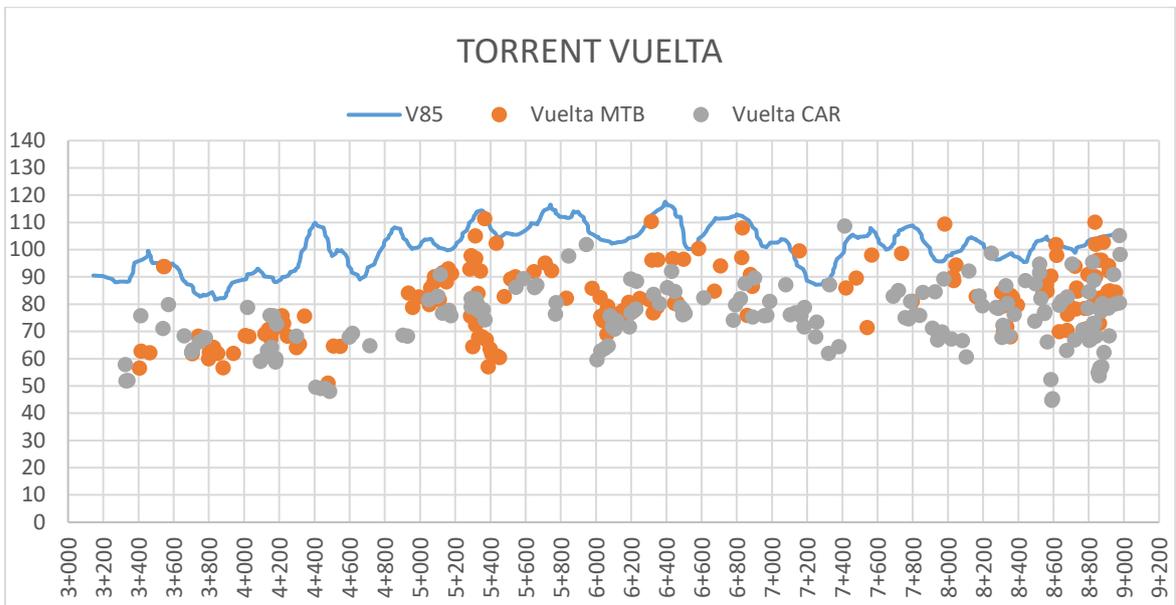
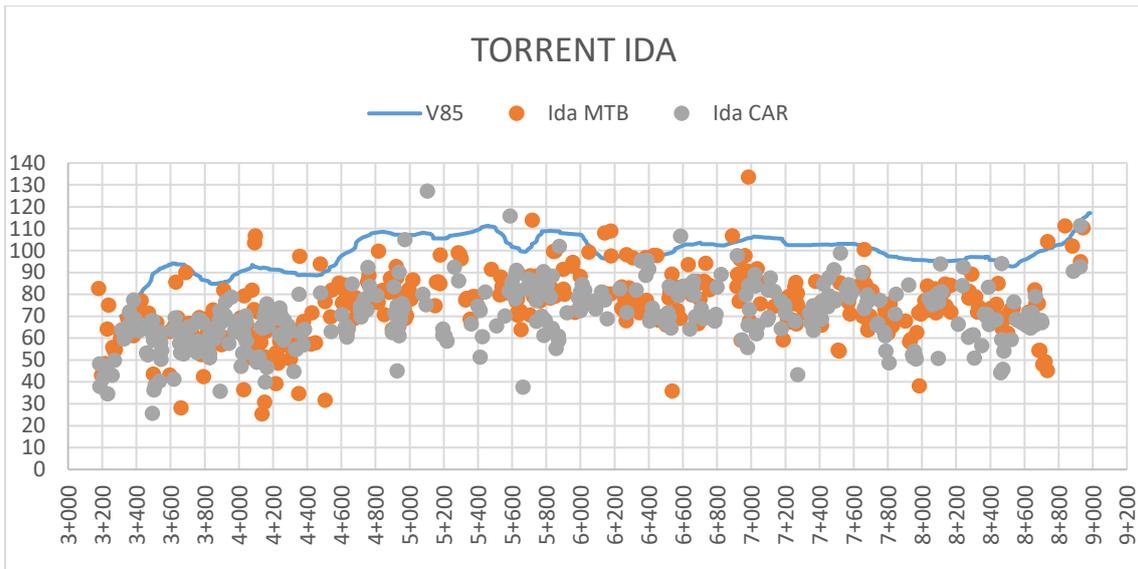


Figura 96. Velocidades adelantamiento frente a V₈₅. Torrent.

Igualmente, y partiendo de esa misma información, se han estimado los valores medios para cada tramo de V_{85} , V_{50} y V_{med} . Como puede apreciarse (Tabla 31) en todos los casos las velocidades medias de adelantamiento se sitúan por debajo de las velocidades medias del tramo y en el entorno de la velocidad legal que regula la carretera. Señalar el hecho de que dos de las carreteras, la CV-315 y la CV-405, presentan la velocidad máxima limitada a 80 km/h asociada a la presencia de ciclistas.

Tramo	Carretera	Velocidades (km/h)				V legal
		V_{85}	V_{50}	V_{med}	$V_{med\ adel}$	
Cheste	CV-50	104,1	78,0	76,9	76,9	Genérica/100
Casinos	CV-3505	108,7	88,2	86,4	70,2	Genérica/100
Náquera	CV-315	91,2	73,4	75,0	73,2	80
Pedralba	CV-376	95,0	75,1	70,2	70,2	Genérica/90/80
Bétera	CV-310	92,7	77,4	76,3	71,7	80
Portaceli	CV-333	110,6	90,6	90,6	81,3	Genérica/90/80
Torrent	CV-405	103,4	87,9	87,8	73,8	80
Algar de Palancia	N-225	129,7	106,7	109,5	93,6	100

Tabla 31. Velocidades medias, percentiles y legales por carreteras.

Obteniendo las medias tanto de la totalidad de las velocidades de adelantamiento como de las velocidades libres de opuestos registradas, puede observarse (Figura 97) como la presencia de un ciclista y su adelantamiento afecta de manera significativa a los valores medios obtenidos, existiendo una diferencia de 8 km/h.

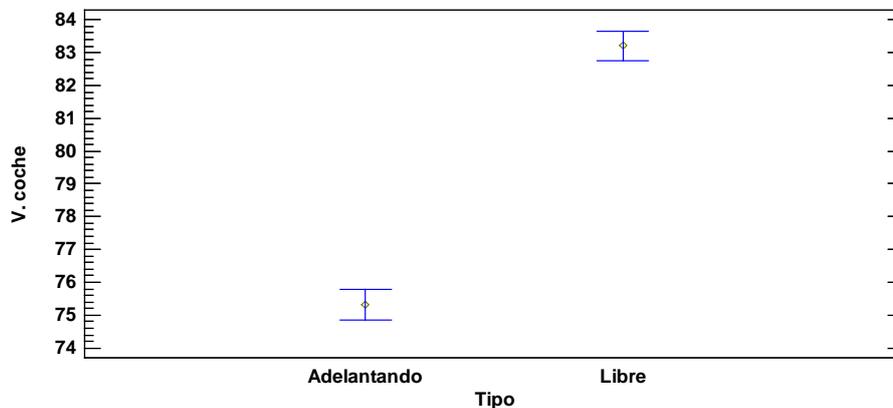
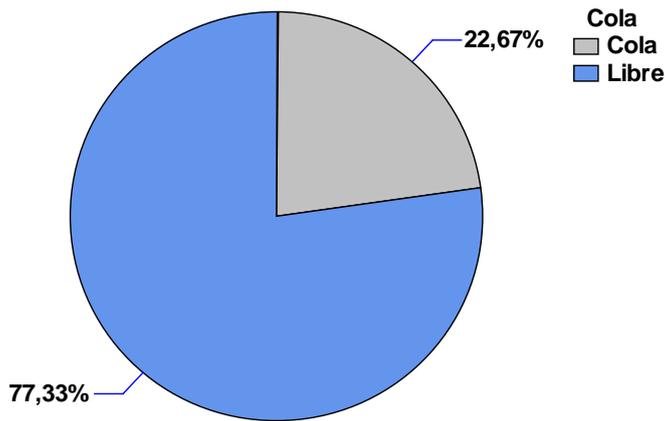


Figura 97. Significación de la presencia del ciclista en las velocidades medias.

5.4 Grupos de adelantamiento

Durante el análisis de los datos y de los vídeos grabados se han detectado adelantamientos con seguimiento entre vehículos. Concretamente, y tomando como referencia una separación máxima de 3 s entre vehículos (Figura 98), se han detectado 2.394 adelantamientos libres y 702 en cola.



Valor	Nº
Cola	702
Libre	2.394

Figura 98. Grupos de adelantamiento.

El análisis de su comportamiento refleja (Figura 99) que la separación neta media es similar en ambas situaciones, 1,66 m.

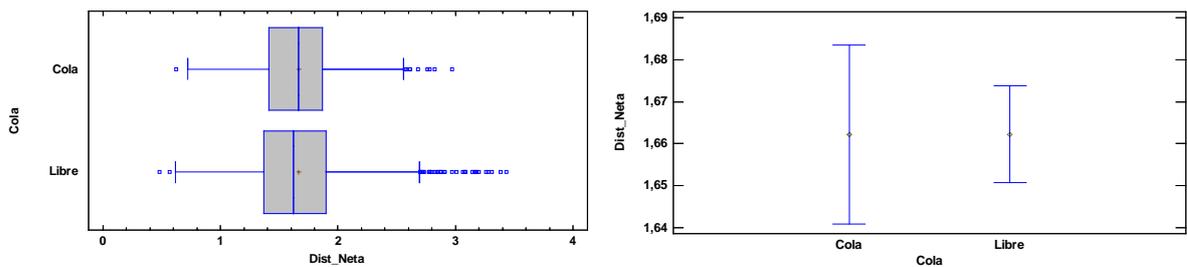


Figura 99. Influencia de la presencia de colas en la separación neta media durante el adelantamiento.

Por su parte, la existencia de colas afecta de manera significativa a la velocidad media durante el adelantamiento (Figura 100) siendo menor en el caso de adelantamiento en grupo, 72,9 km/h frente a 76,0 km/h cuando el adelantamiento es libre. Como era de esperar, la velocidad de adelantamiento de los vehículos del grupo está condicionada por la del vehículo que los encabeza.

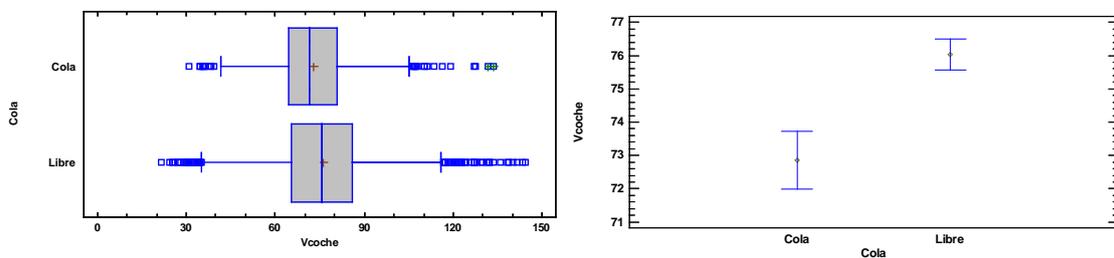


Figura 100. Influencia de la presencia de colas en la velocidad media durante el adelantamiento.

5.5 Influencia de la geometría

Se ha analizado la influencia del trazado en planta y alzado sobre las maniobras detectadas.

5.5.1 Geometría en planta

Si tenemos en cuenta la geometría en planta, nos encontramos con que se han producido un 69,35% de adelantamientos en recta, un 16,73% en curvas a derecha y un 13,92% de adelantamientos en zonas de curva a izquierda (Figura 101). Adelantamientos en función de la geometría en planta.

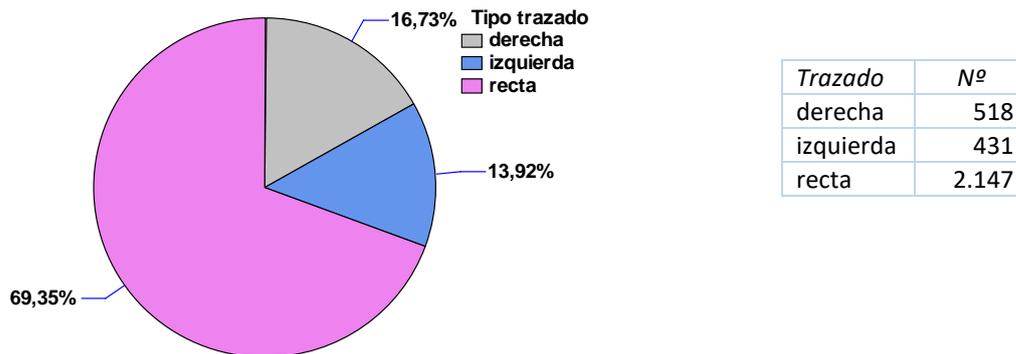


Figura 101. Adelantamientos en función de la geometría en planta.

De los datos sobre geometría de las carreteras analizadas nos encontramos con que los tramos en recta suponen un 68,38%, las curvas a derecha un 15,52% y las curvas a izquierda un 16,10%. Estos porcentajes coinciden sensiblemente con los de las zonas de adelantamiento. No parece, por tanto, que la geometría en planta de las carreteras estudiadas condicione la decisión de adelantar.

5.5.1.1 Separación

La **separación neta** media de los adelantamientos en el caso de curvas a derecha ha sido de 1,67 m, en el caso de curvas a izquierda 1,78 m y en el caso de rectas 1,64 m (Figura 102).

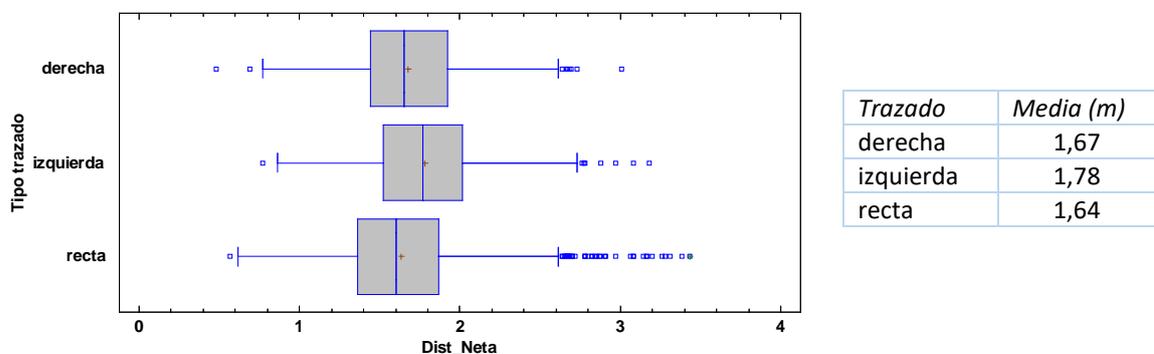


Figura 102. Separación neta en función del trazado en planta.

Como puede apreciarse (Figura 103) existe una importante tendencia por parte de los vehículos a cerrarse hacia el interior de las curvas a izquierda, separándose del ciclista, y existe una diferencia significativa respecto a las separaciones obtenidas en recta o en curva a la derecha, entre las cuales también se aprecia una cierta diferencia aunque no tan marcada.

Cabe destacar el hecho de que, a partir de los datos obtenidos en esta investigación, la posible tendencia a cerrarse en curvas a derecha no lleva a separaciones inferiores a las que se tendría en adelantamientos en recta.

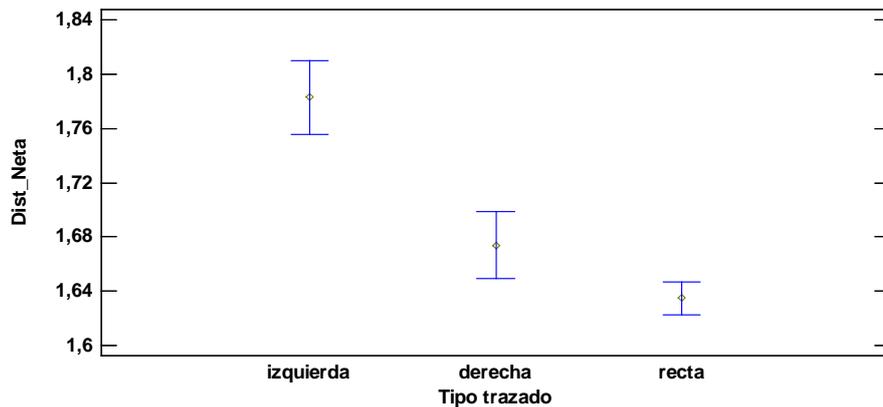


Figura 103. Separación neta en función del trazado en planta.

En la Tabla 32 se recogen las separaciones medias para cada categoría en función del trazado en planta.

Separación	Derecha	Izquierda	Recta
Ligeros	1,68 m	1,80 m	1,63 m
Todoterrenos	1,67 m	1,79 m	1,60 m
Furgonetas	1,69 m	1,73 m	1,59 m
Camiones	1,63 m	1,71 m	1,77 m

Tabla 32. Separaciones netas medias por tipo de vehículo según geometría en planta.

Si tomamos como referencia los valores medios por categorías (Figura 104) en los casos de las carreteras analizadas la geometría en planta sólo parece afectar de manera significativa a la separación neta durante el adelantamiento de los camiones en recta. En curvas a derecha o a izquierda la geometría en planta no se muestra como un parámetro significativo.

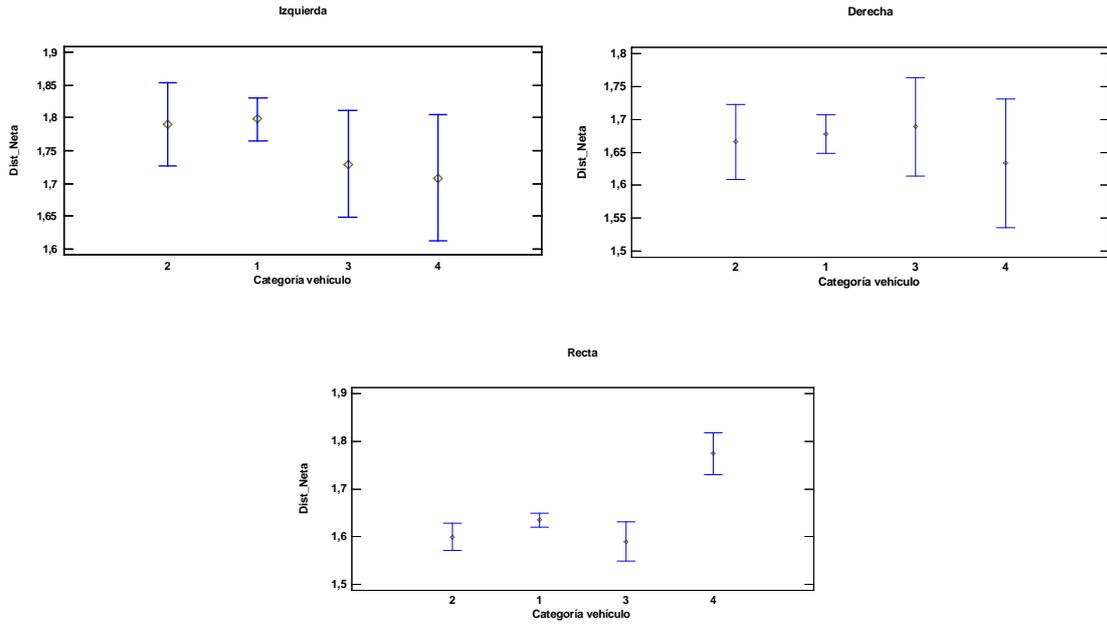


Figura 104. Separaciones netas medias por tipo de vehículo y geometría en planta.

Sin embargo, si atendemos a la **separación semineta** media (Figura 105) se aprecia que el comportamiento de los camiones tiende a diferenciarse del resto de los vehículos no sólo en recta sino también en curvas y que las separaciones del resto de los vehículos, como es lógico, aumentan respecto a las netas.

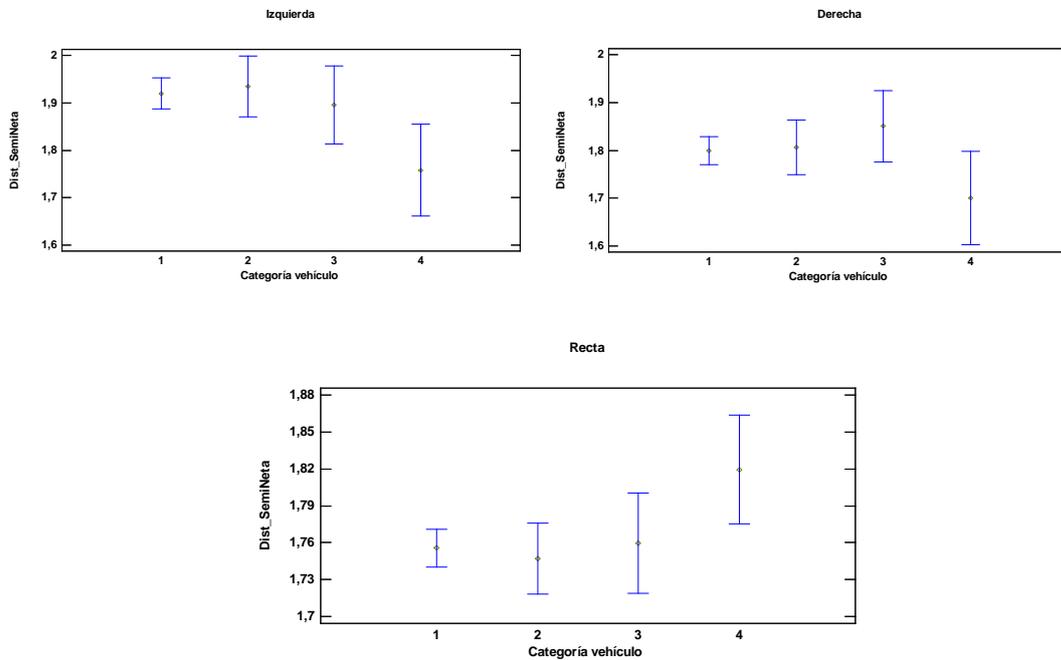


Figura 105. Separaciones seminetas media por tipo de vehículo y trazado en planta.

5.5.1.2 Velocidad

Respecto a las velocidades medias desarrolladas (Figura 106) nos encontramos con que en el caso de curvas a derecha ésta ha sido 72,1 km/h, a izquierda 73,9 km/h y en los tramos rectos 76,4 km/h.

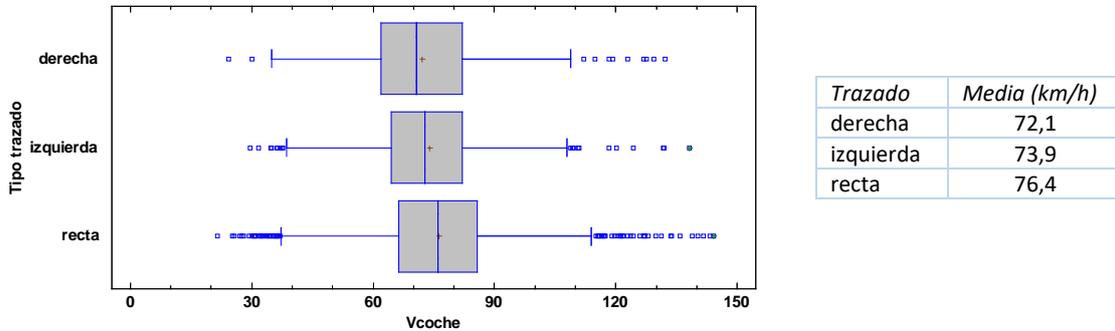


Figura 106. Velocidades medias de adelantamiento según tipo de trazado.

El tipo de trazado influye de manera significativa (Figura 107) en una mayor velocidad de adelantamiento en rectas, no así en el caso de las curvas, donde la diferencia entre la velocidad en curvas a derecha y a izquierda no es del todo significativa, siendo en este segundo caso ligeramente superior.

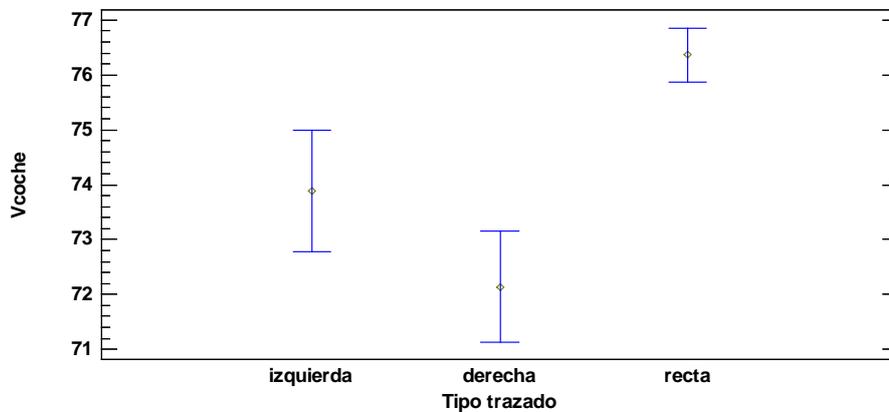


Figura 107. Significación velocidades medias de adelantamiento según tipo de trazado en planta.

En la Tabla 33 se recogen las velocidades medias por tipo de vehículo.

Velocidad	Derecha	Izquierda	Recta
Ligeros	72,5 km/h	74,3 km/h	77,5 km/h
Todoterrenos	70,7 km/h	76,0 km/h	74,4 km/h
Furgonetas	72,7 km/h	67,1 km/h	76,6 km/h
Camiones	71,3 km/h	74,5 km/h	71,2 km/h

Tabla 33. Velocidad media por tipo de vehículo según geometría en planta.

Como puede apreciarse (Figura 108) parece que los vehículos tienden a reducir la velocidad ligeramente en los adelantamientos en curva mientras que en recta es algo superior a la media.

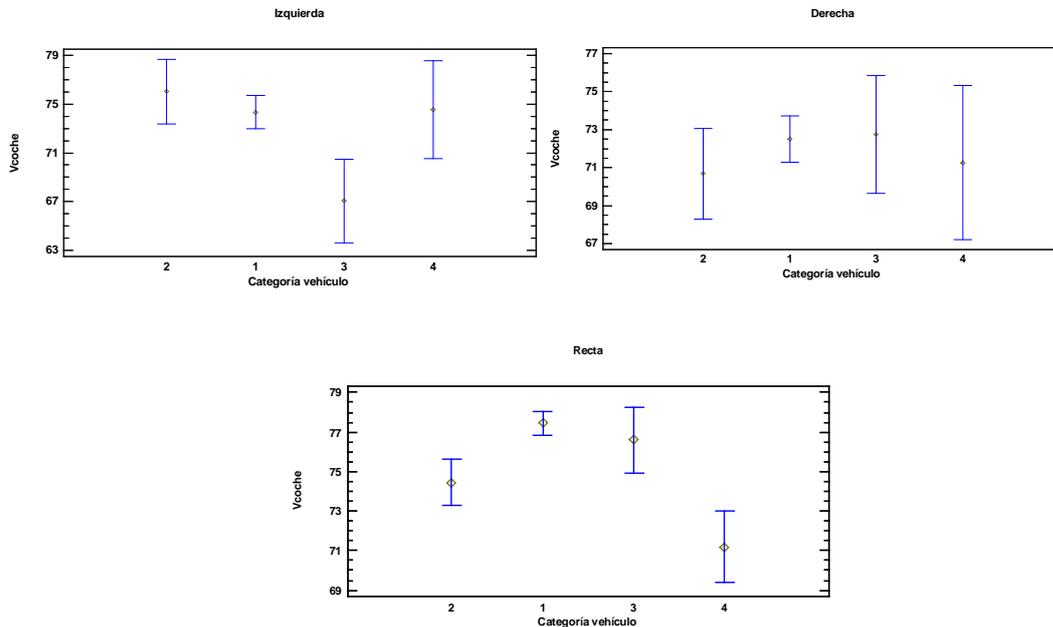


Figura 108. Velocidades medias por tipo de vehículo y trazado en planta.

5.5.2 Geometría en alzado

Se ha realizado una primera aproximación a la incidencia del trazado en alzado de las diferentes carreteras en el comportamiento de los vehículos durante el adelantamiento. En general, las carreteras utilizadas no presentaban un perfil longitudinal con pendientes singulares, siendo más o menos ondulados con pendientes medias crecientes o decrecientes en el sentido de avance de la prueba.

En la Tabla 34 se recoge el resumen de las separaciones netas medias y velocidades medias recogidas durante los adelantamientos.

CARRETERA	Subida		Bajada	
	Smed (m)	Vveh (km/h)	Smed (m)	Vveh (km/h)
Bétera	1,46	70,5	1,49	73,7
Casinos	1,62	69,6	1,75	71,6
Cheste	1,70	77,0	1,78	84,0
N-225	1,92	94,9	1,81	92,8
Náquera	1,94	72,7	1,64	76,7
Pedralba	1,46	69,3	1,59	71,0
Portaceli	1,64	79,5	1,74	86,0
Torrent	1,64	71,8	1,68	78,3
PROMEDIO	1,67	75,7	1,69	79,3

Tabla 34. Separaciones netas y velocidades medias según alzado.

En los adelantamientos realizados en rampa la separación media durante los adelantamientos ha sido de 1,67 m mientras que en los realizados en pendiente ha sido de 1,69 m.

Por su parte, la velocidad media durante los adelantamientos realizados en rampa ha sido de 75,7 km/h, mientras que en los realizados en pendiente ha sido de 79,3 km/h.

Como puede apreciarse, en los adelantamientos en rampa los vehículos guardan en general una menor separación y lo hacen a menor velocidad que en los casos en pendiente.

5.5.3 Visibilidad

A través de los vídeos grabados se ha determinado la visibilidad durante el adelantamiento, tanto hacia delante como hacia atrás desde el punto de vista del ciclista. De la observación de los datos (Figura 109) no se desprende una correlación entre la visibilidad disponible y la separación y velocidad durante la maniobra.

Ahora bien, sí que se pone de manifiesto que esas visibilidades influyen en el comportamiento del conductor. Menores distancias de visibilidad reflejan una mayor dispersión de las medidas, tanto de la separación como de la velocidad, consecuencia, probablemente, de la mayor dificultad que supone para el conductor la toma de decisión sobre la maniobra. Por el contrario, a mayor distancia de visibilidad las medidas son menos dispersas, tendiendo al valor medio en el caso de las separaciones y presentando una cierta tendencia creciente en el caso de las velocidades.

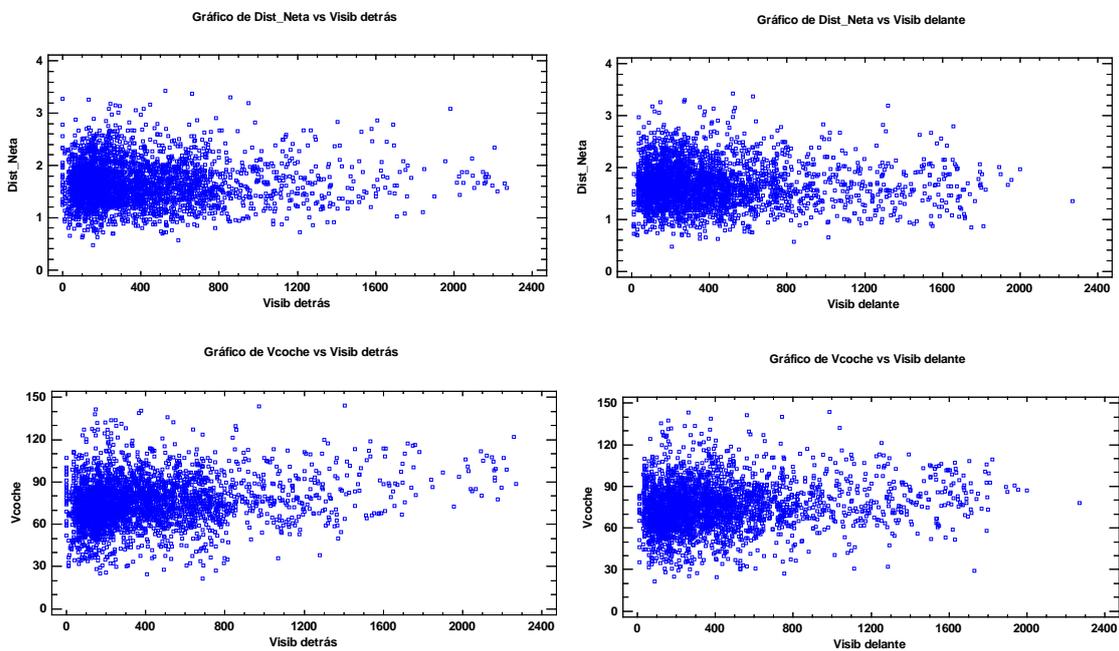


Figura 109. Separación neta y velocidad media en función de la visibilidad.

5.6 Influencia de la sección transversal

Las carreteras en las que se han realizado las pruebas (Tabla 35) disponen de diferentes anchuras de carril y arcén.

Tramo	Carretera	Carril (m)	Arcén (m)	Semiplataforma (m)
Cheste	CV-50	3,50	1,50	5,00
Casinos	CV-3505	3,50	1,60	5,10
Náquera	CV-315	3,15	2,50	5,65
Pedralba	CV-376	3,25	0,50	3,75
Bétera	CV-310	3,15	1,50	4,65
Portaceli	CV-333	3,05	1,10	4,15
Torrent	CV-405	3,50	1,00	4,50
Algar de Palancia	N-225	3,50	1,50	5,00

Tabla 35. Sección transversal de las carreteras.

5.6.1 Separación

Si tenemos en cuenta el ancho de la semiplataforma o del arcén de la carretera (Tabla 36) se aprecia cierta tendencia a un aumento de la separación durante el adelantamiento conforme aumenta la anchura disponible, tanto considerando la semiplataforma como exclusivamente el arcén.

Semiplataforma (m)	Nº	Media (m)	Arcén (m)	Nº	Media (m)
3,75	203	1,53	0,50	203	1,53
4,15	307	1,67	1,00	1.057	1,65
4,50	1.057	1,65	1,10	307	1,67
4,65	490	1,47	1,50	895	1,60
5,00	405	1,76	1,60	264	1,66
5,10	264	1,66	2,50	370	1,90
5,65	370	1,90	Total	3.096	1,66
Total	3.096	1,66			

Tabla 36. Separación neta media según ancho de la semiplataforma y el arcén.

No obstante (Figura 110) las diferencias no acaban de mostrarse como significativas salvo para el caso de las carreteras con mayor y menor ancho de arcén en las que se producen las mayores y menores separaciones, respectivamente, durante el adelantamiento.

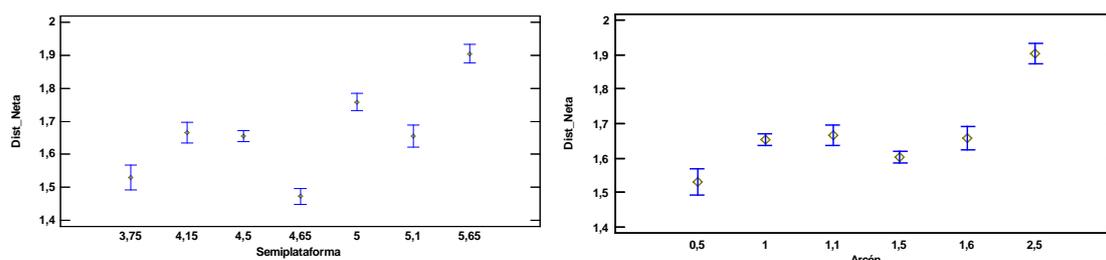


Figura 110. Separación neta media según ancho de la semiplataforma y del arcén.

5.6.2 Velocidad

Respecto a las velocidades durante el adelantamiento (Tabla 37) éstas parecen estar más ligadas a las características geométricas de la vía.

Semiplataforma (m)	Nº	Media (km/h)	Arcén (m)	Nº	Media (km/h)
3,75	203	70,2	0,50	203	70,2
4,15	307	81,3	1,00	1057	73,8
4,50	1.057	73,8	1,10	307	81,3
4,65	490	71,7	1,50	895	78,6
5,00	405	86,9	1,60	264	70,2
5,10	264	70,2	2,50	370	73,2
5,65	370	73,2	Total	3.096	75,3
Total	3.096	75,3			

Tabla 37. Velocidades medias según ancho de la semiplataforma y del arcén.

Aparecen diferencias significativas (Figura 111) tanto para algunos anchos de la semiplataforma como del arcén, aunque no parecen obedecer a una causa diferenciadoras.

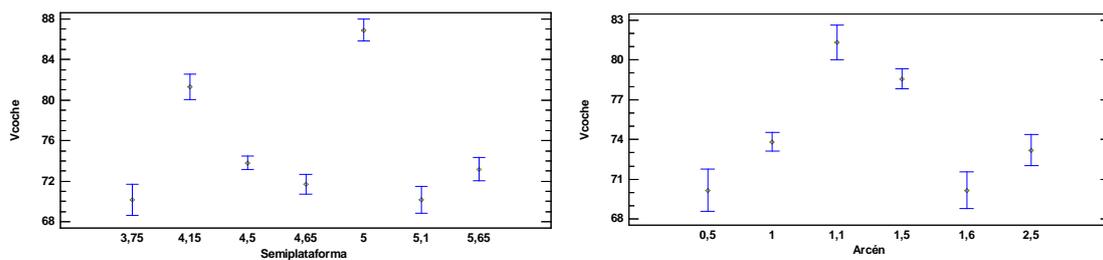


Figura 111. Velocidad media según ancho de la semiplataforma y del arcén.

5.6.3 Ocupación del carril contrario

Del análisis de los datos (Figura 112) se desprende que el mayor porcentaje de vehículos ocupando el carril contrario está vinculado, en general, al menor semiancho total, carril más arcén, disponible.

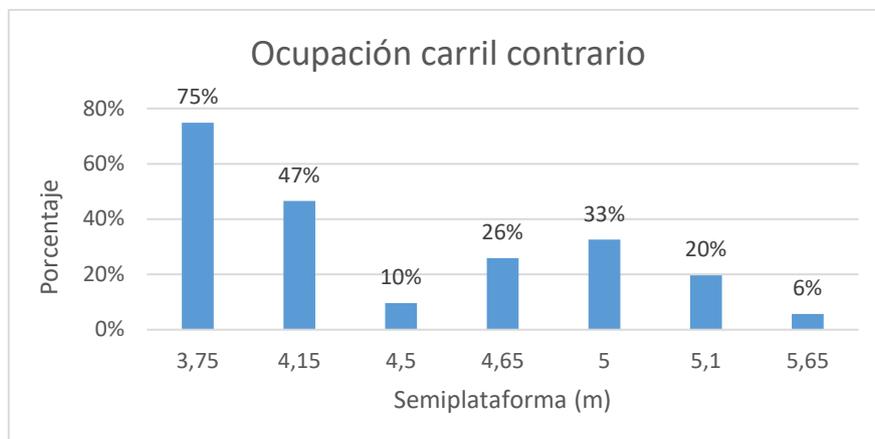


Figura 112. Ocupación del carril contrario según ancho de la semiplataforma.

Por su parte, el tiempo de ocupación del carril contrario (Figura 113) disminuye en general para semianchos menores.

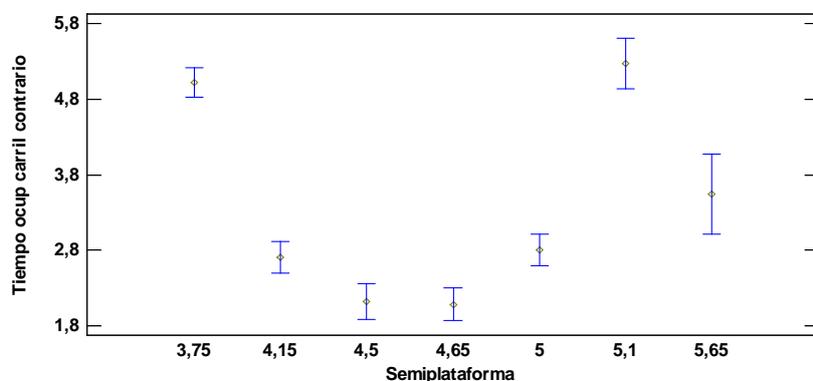


Figura 113. Tiempo de ocupación del carril contrario según el ancho de la semiplataforma.

5.6.4 Arcén coloreado

Hay que señalar que durante las pruebas se han realizado recorridos en dos carreteras con arcenes coloreados para bicicletas:

- CV-315 (Náquera) con carriles de 3,15 m y arcenes de 2,50 m. Semiplataforma 5,65 m.
- CV-310 (Bétera) con carriles de 3,15 m y arcenes de 1,50 m. Semiplataforma 4,65 m.

Del análisis global de los datos (Tabla 38) sin distinguir entre bicicleta de montaña y de carretera, se concluye que en la primera de ellas, Náquera, se han obtenido separaciones medias durante el adelantamiento muy amplias, 1,90 m frente a 1,66 m de media consecuencia de lo amplio del arcén. En el segundo caso, Bétera, la separación ha sido bastante menor, 1,47 m, efecto de las menores dimensiones tanto del carril como del arcén y, por tanto, de la anchura de la semiplataforma. No se alcanza, por tanto, el mínimo establecido por la legislación.

Carretera	Nº	Smed (m)		Semiplataforma	Nº	Smed (m)
Bétera	490	1,47		3,75	203	1,53
Casinos	264	1,66		4,15	307	1,67
Cheste	162	1,68		4,50	1.057	1,66
N225	243	1,81		4,65	490	1,47
Náquera	370	1,90		5,00	405	1,76
Pedralba	203	1,53		5,10	264	1,66
Portaceli	307	1,67		5,65	370	1,90
Torrent	1.057	1,65		Total	3.096	1,66
Total	3.096	1,66				

Tabla 38. Separación neta media y arcén coloreado (en rojo).

Esta circunstancia podría achacarse al hecho de que el carril en esta carretera, de 3,15 m, es más estrecho que en las otras, 3,50 m. Pero si analizamos la separación media en función de las semiplataformas de los diferentes tramos nos encontramos con que en esta carretera la separación media es siempre inferior a la obtenida en el resto de carreteras con semiplataformas menores.

Por tanto, parece desprenderse que el coloreado del arcén hace que los conductores tiendan a no separarse tanto del ciclista durante el adelantamiento, como si se tratase de un carril segregado, aumentando la peligrosidad durante el adelantamiento. Esta sensación fue puesta de manifiesto por el ciclista durante las pruebas.

Respecto a la velocidad media (Tabla 39), ésta se sitúa ligeramente por debajo de la media, lo que pone de manifiesto que la presencia del arcén coloreado no se traduce en una especial moderación en la misma.

Carretera	Nº	Vmed (km/h)		Semiplataforma	Nº	Vmed (km/h)
Bétera	490	71,7		3,75	203	70,2
Casinos	264	70,2		4,15	307	81,3
Cheste	162	76,9		4,5	1.057	73,8
N225	243	93,6		4,65	490	71,7
Náquera	370	73,2		5	405	86,9
Pedralba	203	70,2		5,1	264	70,2
Portaceli	307	81,3		5,65	370	73,2
Torrent	1.057	73,8		Total	3.096	75,3
Total	3.096	75,3				

Tabla 39. Velocidad media y arcén coloreado (en rojo).

Puede concluirse que el arcén coloreado no contribuye, aparentemente, a disminuir sensiblemente la velocidad durante los adelantamientos, pero se traduce también en menores separaciones durante el mismo, derivadas de que los vehículos parecen mostrar tendencia a mantener su trazado al interpretar la zona coloreada como una zona “protegida”.

5.7 Análisis de situaciones de riesgo

Aunque de los análisis previos se deduce una diferencia estadística significativa en lo referente a separaciones y velocidades durante el adelantamiento a bicicletas de carretera o de montaña, los siguientes análisis en los que se evalúan diferentes situaciones de riesgo se realizan sobre la totalidad de los adelantamientos.

En el caso de las separaciones medias netas y seminetas (Figura 114) existe una ligera diferencia significativa respecto a la totalidad de la muestra. No obstante, la diferencia entre los valores medios es pequeña, entre 3 y 4 cm, por lo que el efecto de la agregación de los datos se considera asumible.

En el caso de las velocidades medias (Figura 114) no existe una diferencia significativa clara respecto a la media de la totalidad de las observaciones siendo, además, la diferencia entre los valores medios muy pequeña, del orden de 1 km/h.

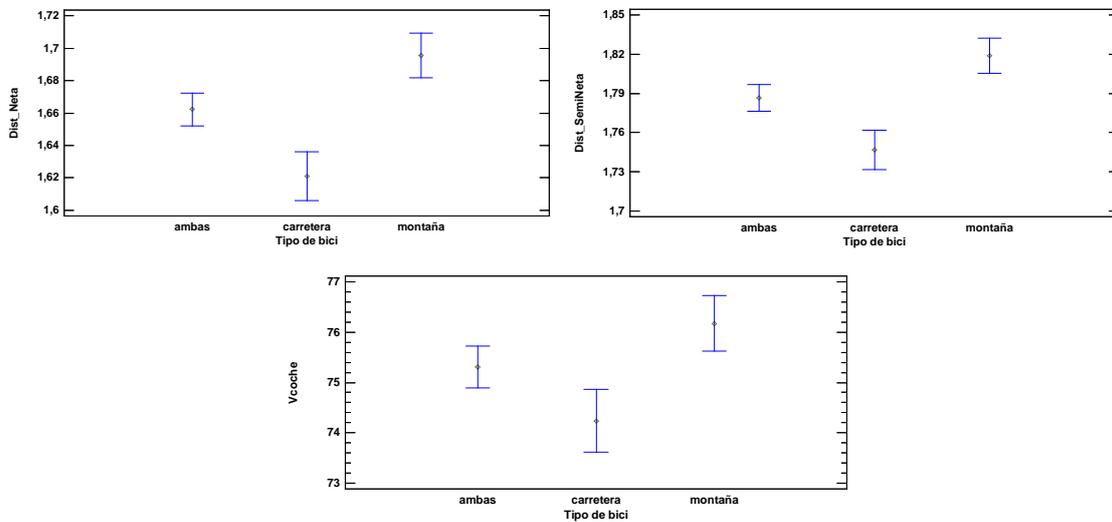


Figura 114. Significación de las separaciones medias neta y semineta y de la velocidad media por tipo de bicicleta respecto a la totalidad de la muestra.

Adicionalmente, cabe señalar que, a efectos prácticos, a fecha de hoy no existen registros sobre demanda ciclista no sólo en las carreteras recorridas durante las pruebas, sino, en general, en el resto de carreteras existentes en el país, y menos distinguiendo entre tipos de bicicletas, por lo que la agregación de ambos tipos también se considera razonable a estos efectos en tanto que permite analizar el comportamiento medio de los vehículos.

5.7.1 Separación inferior a 1,50 m

Considerando la totalidad de los adelantamientos, 1.131 vehículos mantuvieron una **separación neta** durante el adelantamiento menor o igual a 1,50 m (Figura 115).

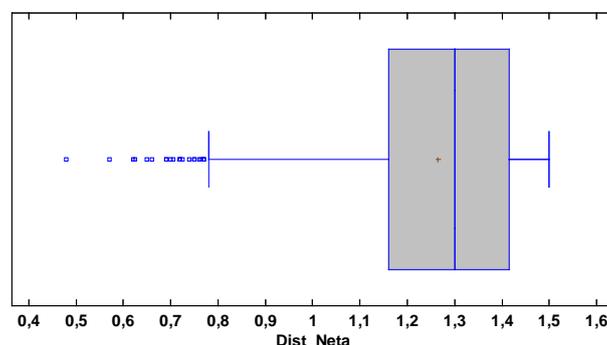


Figura 115. Adelantamientos con separación neta igual o inferior a 1,50 m

<i>Cat. vehículo</i>	<i>Nº</i>	<i>%/Cat</i>	<i>Media (m)</i>	<i>Mín. (m)</i>	<i>Percentil (m)</i>	
1	736	36 %	1,27	0,48	1,0%	0,72
2	215	39 %	1,27	0,63	5,0%	0,89
3	113	39 %	1,26	0,66	10,0%	0,99
4	67	29 %	1,22	0,69	25,0%	1,16
Total	1.131		1,26	0,48	50,0%	1,30
					75,0%	1,42
					85,0%	1,46
					90,0%	1,47
					95,0%	1,48
					99,0%	1,50

Tabla 40. Umbrales de separación para la separación neta igual o inferior a 1,50 m.

Como puede observarse (Tabla 40) más de una tercera parte de los vehículos, un 36,5 %, no respetó la separación mínima de 1,50 m contemplada en el art. 85 del Reglamento General de Circulación durante la maniobra de adelantamiento. Dentro de este conjunto de vehículos que mantuvo una separación inferior a 1,50 m durante el adelantamiento, el 95% de ellos guardó una separación superior a 0,90 m.

En la Figura 116 se recoge su distribución por categorías. Se aprecia que los camiones son los vehículos menos respetuosos a este respecto, no existiendo una diferencia significativa en el comportamiento mantenido entre el resto de categorías.

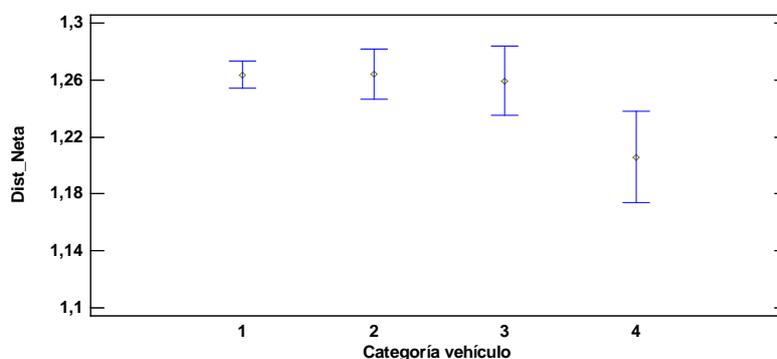


Figura 116. Adelantamientos con separación neta inferior o igual a 1,50 m por categorías.

No obstante, si consideramos la **separación semineta** (Tabla 41) nos encontramos con 774 casos en los que esa separación semineta ha sido menor o igual a 1,50 m, un 25% del total, resultando, igualmente significativo (Figura 117) el caso de los vehículos pesados. El 95 % de los vehículos en esta situación mantienen una separación semineta de, al menos 1 m.

Cat. vehículo	Nº	% /Cat	Media (m)	Mínima (m)	Percentil (m)	
1	509	20%	1,31	0,60	1,0%	0,83
2	137	25%	1,32	0,78	5,0%	0,99
3	66	24%	1,31	0,84	10,0%	1,05
4	62	20%	1,25	0,81	25,0%	1,20
Total	774		1,30	0,60	50,0%	1,35
					75,0%	1,44
					85,0%	1,48
					90,0%	1,49
					95,0%	1,49
					99,0%	1,50

Tabla 41. Umbrales de separación para la separación semineta igual o inferior a 1,50 m.

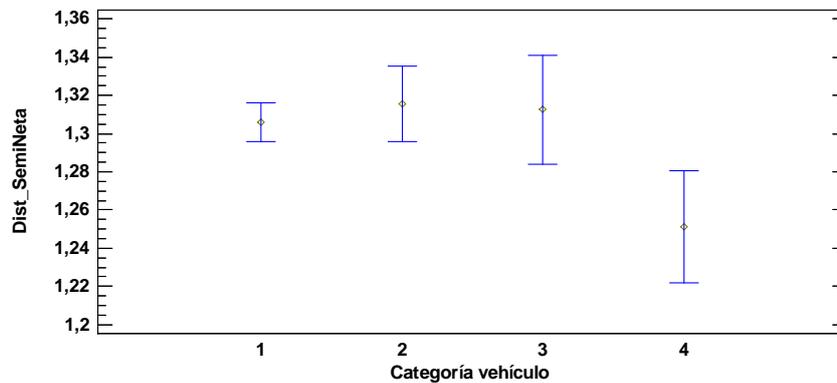


Figura 117. Adelantamientos con separación semineta inferior o igual a 1,50 m por categorías.

Por su parte, la velocidad media de los vehículos involucrados ha sido de 72,6 km/h (Figura 118) ligeramente por debajo de la media general, no apreciándose una diferencia de comportamiento en función del tipo de vehículo (Figura 119).

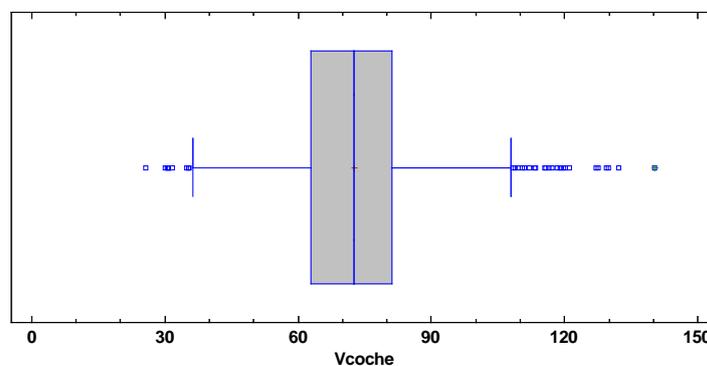


Figura 118. Velocidad media durante los adelantamientos con separación igual o inferior a 1,50 m.

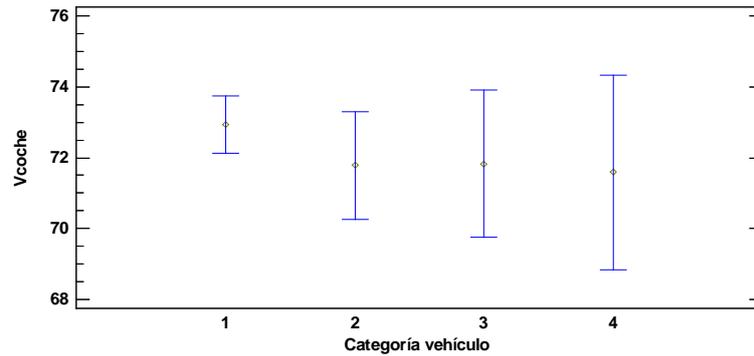


Figura 119. Velocidad media durante los adelantamientos con separación igual o inferior a 1,50 m por tipo de vehículo.

En la Tabla 42 se recoge la proporción de adelantamientos en función del semiancho de la plataforma con separación neta $\leq 1,50$ m. Como puede apreciarse, la proporción disminuye sensiblemente conforme aumenta el ancho disponible, aunque llama especialmente la atención el caso de semiancho 4,65 m que se corresponde, sorprendentemente, con una de las dos carreteras en las que el arcén está coloreado y para el que se produce el mayor número de casos.

Semiplataforma (m)	Nº	%/Cat
3,75	108	53,2%
4,15	115	37,5%
4,50	355	33,6%
4,65	284	58,0%
5,00	100	24,7%
5,10	103	39,0%
5,65	66	17,8%
Total	1.131	36,5%

Tabla 42. Porcentaje de vehículos que adelantan con separación neta igual o inferior a 1,50 m en función del ancho de la semiplataforma.

5.7.2 Presencia de tráfico opuesto

Se han producido 2.604 adelantamientos con presencia de vehículos en sentido contrario. En estos casos (Figura 120) la separación neta media ha sido de 1,65 m, mientras que la velocidad media durante el adelantamiento ha sido de 75,7 km/h. En 956 casos, un 36,7 % de ellos, la separación neta ha sido inferior a 1,50 m, manteniéndose la proporción general.

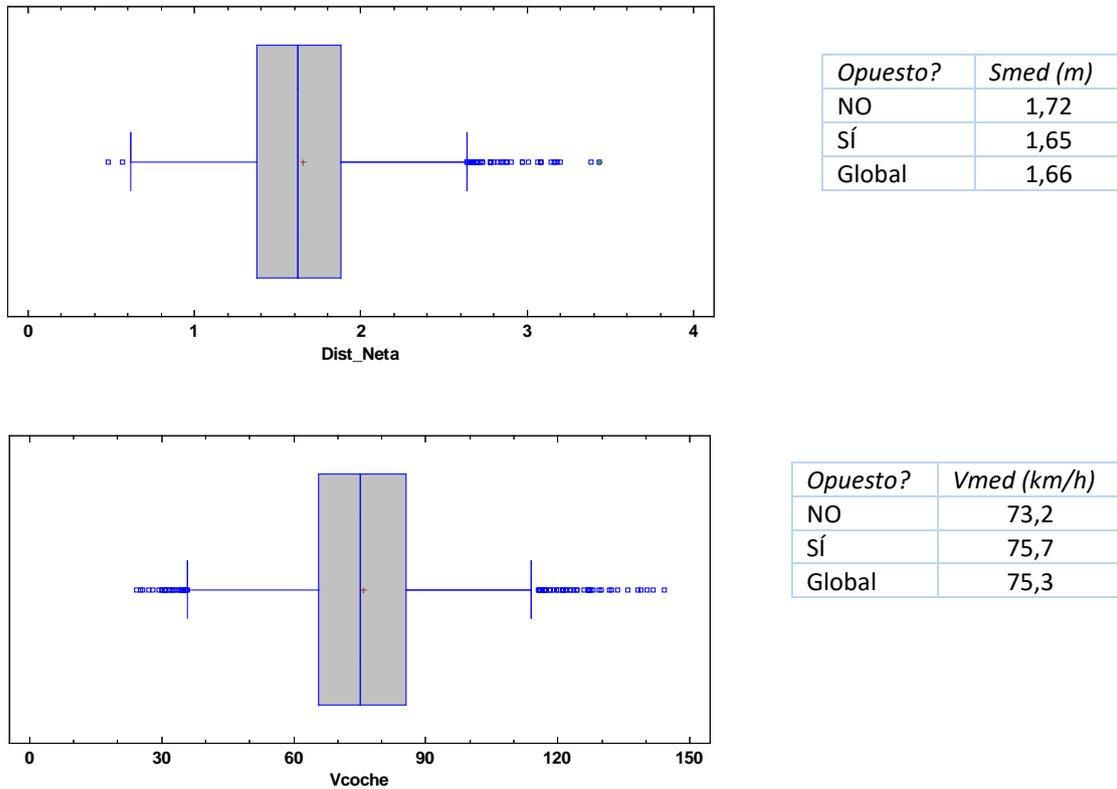


Figura 120. Separación neta y velocidad media con presencia de vehículo opuesto.

Como puede apreciarse (Figura 121) la presencia de tráfico opuesto durante el adelantamiento tiene una incidencia significativa en ambos parámetros. Sin tráfico opuesto la separación es un 4,2 % mayor, mientras que con tráfico opuesto la velocidad media durante el adelantamiento es también ligeramente superior, un 3,4 %. Esta última circunstancia puede tener su origen en el hecho de que el conductor adelantante tiende a apresurar su maniobra para concluirla en un menor tiempo ante la presencia de tráfico opuesto.

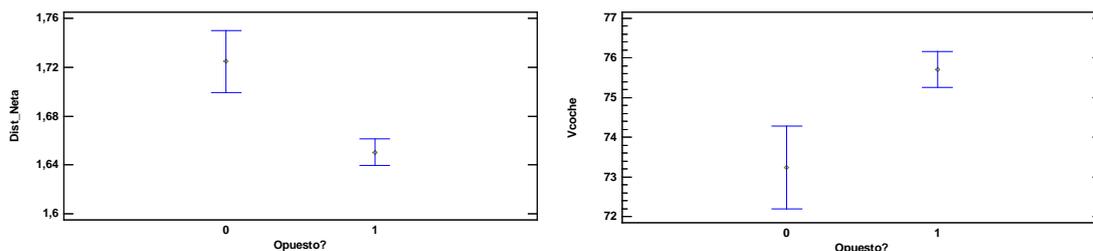
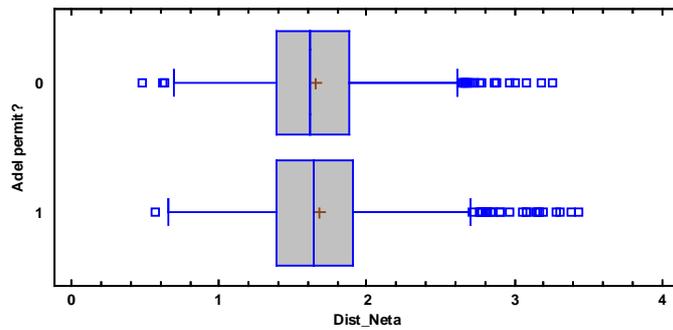


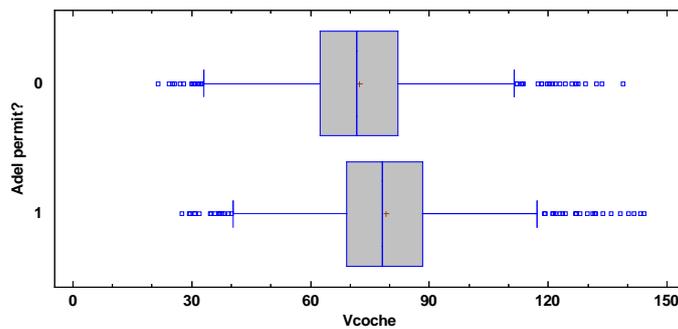
Figura 121. Significación del tráfico opuesto en la separación neta y velocidad media.

5.7.3 Posibilidad de adelantamiento

El Reglamento General de Circulación permite la maniobra de adelantamiento a bicicletas en tramos con prohibición de adelantamiento cuando puedan ser adelantados sin riesgo para ellos ni para la circulación en general. Se han producido 1.746 maniobras de adelantamiento en zonas donde el adelantamiento estaba prohibido y 1.350 en tramos con adelantamiento permitido, Figura 122.



Adel. permit.?	Nº	Smed (m)
No	1.746	1,65
Sí	1.350	1,67
Global	3.096	1,66



Adel. permit.?	Nº	Vmed (km/h)
No	1.746	72,4
Sí	1.350	79,1
Global	3.096	75,3

Figura 122. Separación neta y velocidad media según posibilidad de adelantamiento.

La posibilidad o no de adelantamiento (Figura 123) no se presenta como un elemento significativo a la hora de evaluar las separaciones medias durante la maniobra, situándose éstas en el entorno de la media global. Por el contrario, la velocidad sí que se ve influenciada por la posibilidad o no de adelantamiento, siendo significativamente mayor, un 9,3 %, cuando está permitido el adelantamiento. Esto pone de manifiesto, por tanto, una mayor moderación de los conductores cuando no está permitido el adelantamiento.

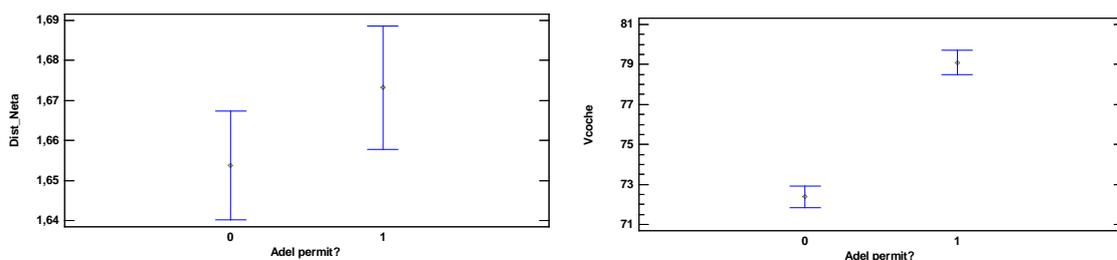


Figura 123. Significación de la posibilidad de adelantamiento en las separaciones netas y velocidades medias durante el adelantamiento.

5.7.4 Ocupación del carril contrario

Respecto a la ocupación del carril contrario, y como ya se ha indicado en el apartado anterior, ésta es posible no sólo cuando está permitido el adelantamiento, sino que también está permitida en tramos con prohibición de adelantamiento cuando los ciclistas puedan ser adelantados sin riesgo para ellos ni para la circulación en general.

Los datos recogidos (Figura 124) reflejan que 2.367 vehículos, el 76,45%, no invadieron el carril contrario durante el adelantamiento, mientras que los restantes 729, el 23,55% sí lo hizo. En el primer caso la separación media fue de 1,61 m frente a 1,85 m en los casos en los que sí se ocupó.

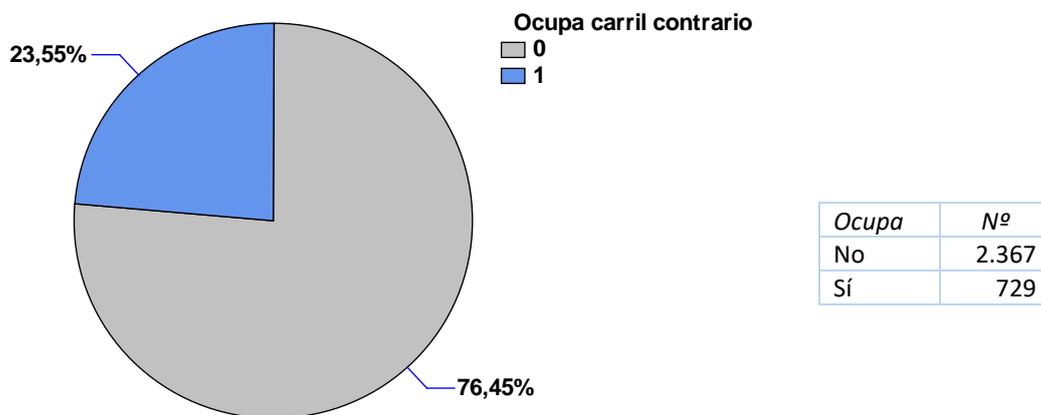


Figura 124. Ocupación del carril contrario.

En el primer caso la separación media fue de 1,61 m frente a 1,85 m en los casos en los que sí se ocupó (Figura 125). En los casos de no ocupación del carril contrario los valores se enmarcan principalmente entre 1,40 m y 1,80 m, mientras que en los casos con ocupación del carril contrario las separaciones lo hacen entre 1,50 y 2,10 m.

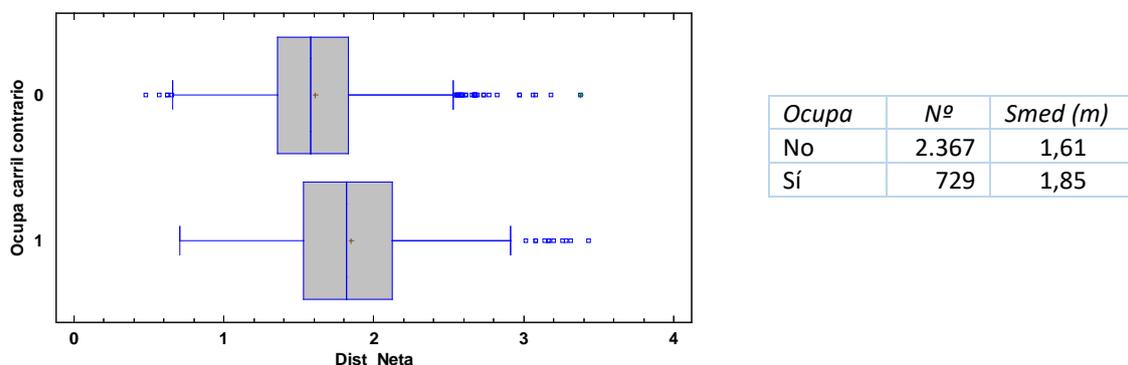


Figura 125. Separación neta media sin y con ocupación del carril contrario.

Como puede verse en la Figura 126, la ocupación o no del carril contrario genera una diferencia significativa entre las separaciones netas medias registradas y que en valores absolutos llega a los 25 cm.

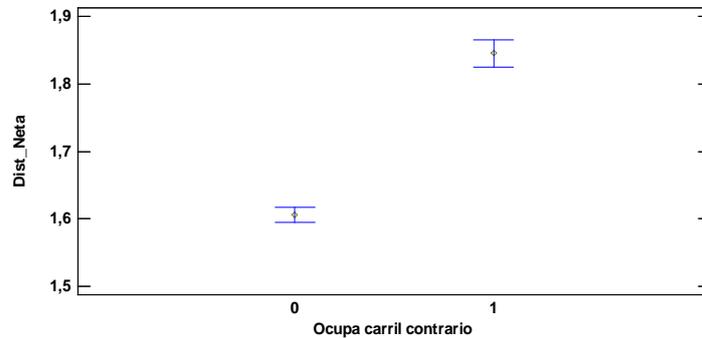


Figura 126. Significación de la ocupación del carril contrario en la separación neta media.

En la Tabla 43 se recogen, clasificadas por tipos de vehículos, las maniobras de adelantamiento y las separaciones netas medias con y sin ocupación del carril contrario. Igualmente, en la se observa como la ocupación o no del carril contrario afecta de manera significativa a la distancia de adelantamiento para todas las categorías de vehículos.

Categoría	Con ocupación		Sin ocupación	
	Nº	Smed (m)	Nº	Smed (m)
1	429	1,84	1599	1,62
2	147	1,79	403	1,58
3	53	1,87	236	1,58
4	100	1,92	129	1,61
Total	729	1,85	2367	1,61

Tabla 43. Separaciones medias netas según tipo de vehículo con y sin ocupación del carril contrario.

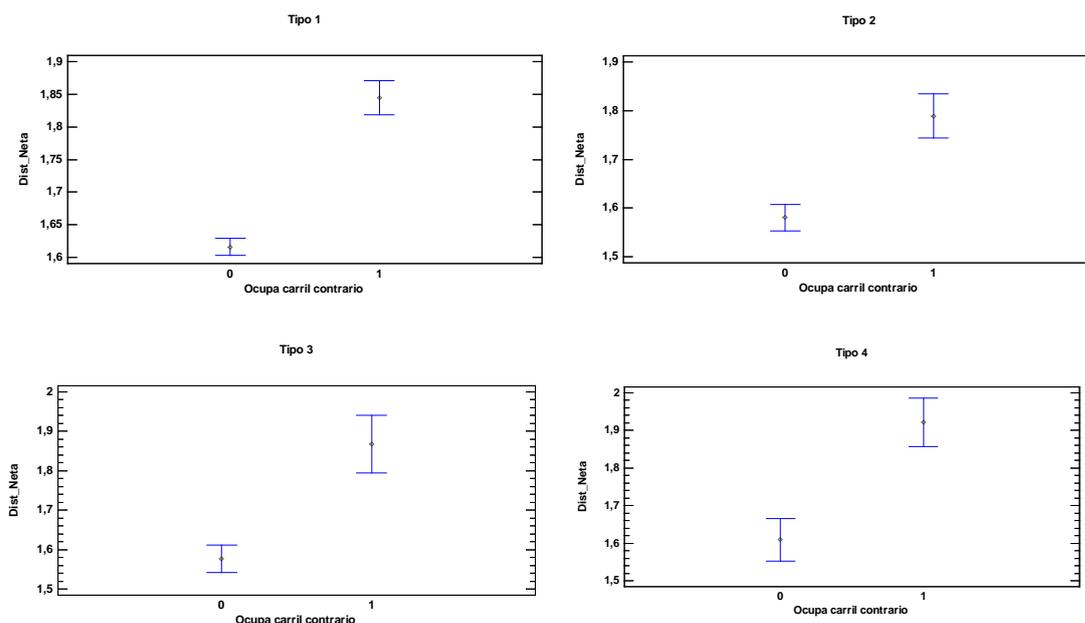


Figura 127. Significación de la ocupación del carril contrario en la separación neta media por tipo de vehículo.

Por su parte, de los 729 adelantamientos ocupando carril contrario, 167 lo hicieron con una separación inferior o igual a 1,50 m. En la Figura 128 se observa como el número de vehículos en esta situación disminuye conforme aumenta el semiancho de la plataforma de la carretera salvo en el caso de semiancho 4,65 m, coincidente con una de las carreteras con arcén coloreado para uso de bicicletas.

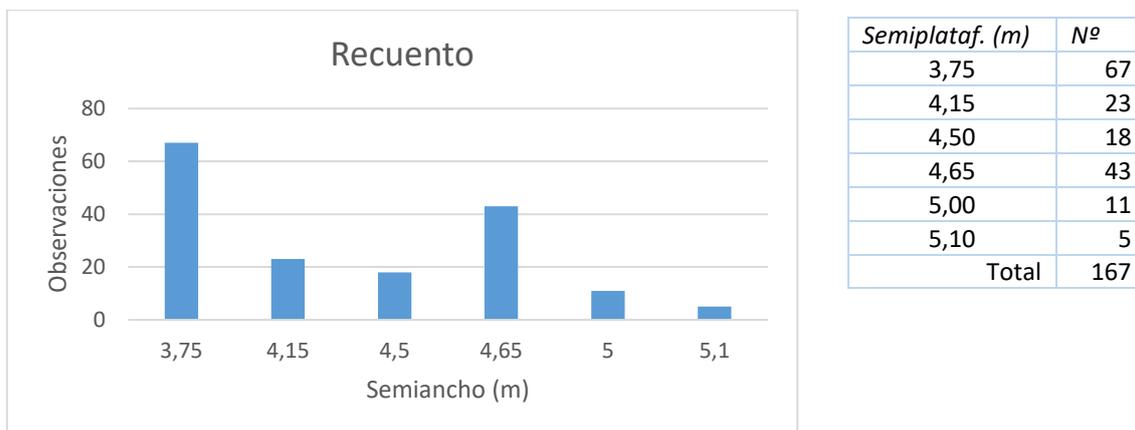


Figura 128. Proporción de vehículos que ocupan el carril contrario con separación igual o menor a 1,50 m.

Por otra parte, de los 729 casos en los que se produjo ocupación del carril contrario, 336 vehículos lo hicieron en tramos en los que estaba prohibido el adelantamiento, casi un 50%.

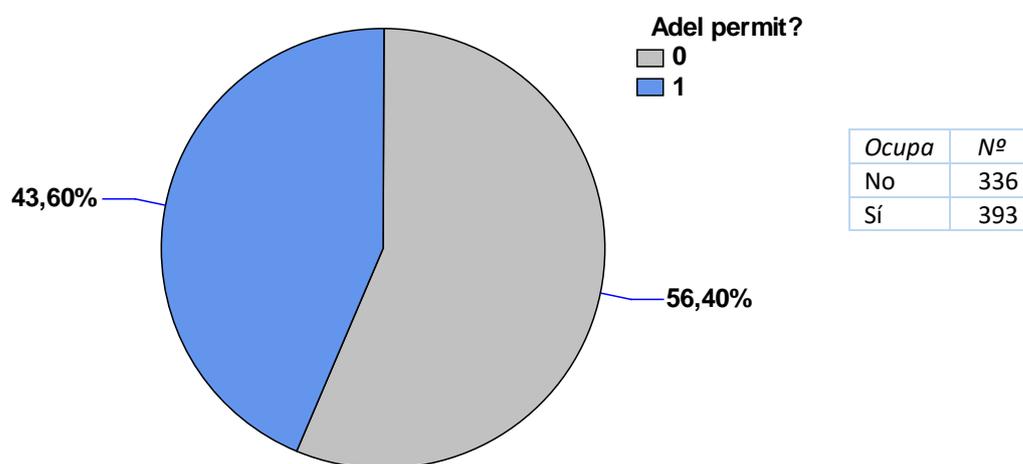
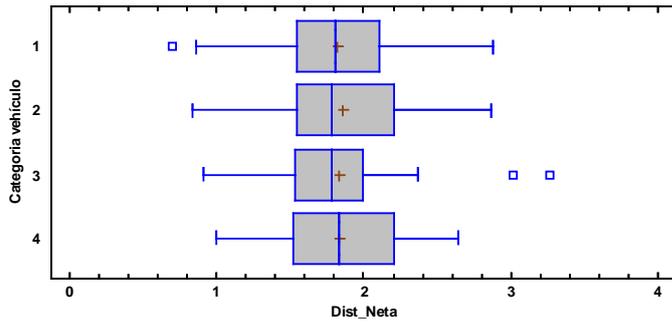


Figura 129. Ocupación del carril contrario con y sin prohibición de adelantamiento.

La separación media fue de 1,84 m, no existiendo diferencia sensible en los casos con prohibición y sin prohibición.

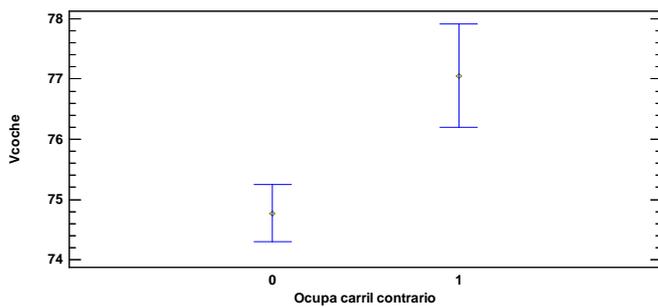
Tampoco hay una diferencia sensible en función del tipo de vehículo en las zonas donde estaba prohibido el adelantamiento (Figura 130).



Cat. vehículo	Nº	Smed (m)
1	194	1,82
2	72	1,86
3	24	1,83
4	46	1,84
Total	336	1,84

Figura 130. Separación media con ocupación del carril contrario y prohibición de adelantamiento.

Respecto a la velocidad (Tabla 44), la velocidad media en los casos en los que se ocupó el carril contrario fue de 77,1 km/h, mientras que en los casos en los que no se produjo ocupación, la velocidad media fue ligeramente menor, concretamente 74,7 km/h, siendo este parámetro significativo. La explicación a esta circunstancia podría encontrarse en el hecho de que el conductor que adelanta sin ocupar el carril contrario lo hace más próximo al ciclista por lo que es posible que disminuya la velocidad para disminuir el riesgo durante el adelantamiento.



Ocupa carril contrario	Nº	Vmed (km/h)
No	2.367	74,7
Sí	729	77,1
Total	3.096	75,3

Tabla 44. Velocidad media con y sin ocupación del carril contrario.

Por otra parte, la tendencia a ocupar el carril contrario en función de la geometría en planta se ha mostrado claramente mayor en zonas de trazado recto que en curvo (Figura 131).

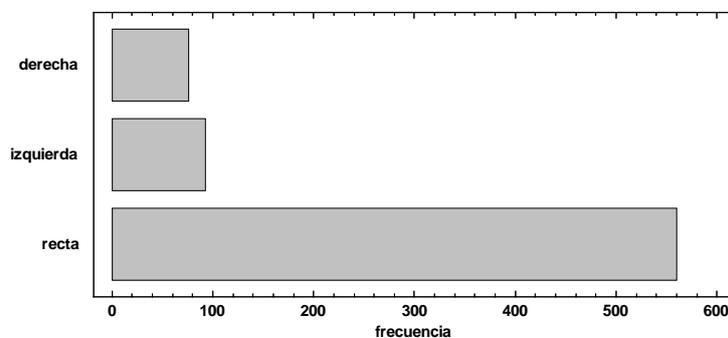


Figura 131. Ocupación del carril contrario según trazado en planta.

Finalmente, aunque en esta investigación no se han registrado las visibilidades durante la maniobra de adelantamiento desde el punto de vista del conductor, sí que se han determinado las visibilidades desde el punto de vista del ciclista en el momento del adelantamiento. Dada la notable diferencia entre las velocidades del vehículo adelantante y el ciclista en el momento del adelantamiento, puede considerarse que la visibilidad disponible por el vehículo durante la aproximación y adelantamiento tiende a asemejarse a la visibilidad frontal disponible por el ciclista (Figura 132).

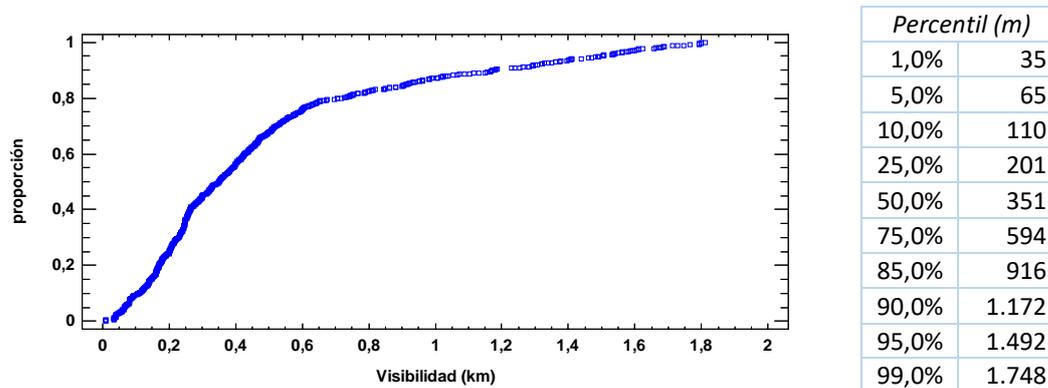


Figura 132. Ocupación del carril contrario en función de la visibilidad.

Se aprecia cómo los conductores prácticamente no ocupan el carril contrario para visibilidades inferiores a 35 m y sólo un 10 % lo hace con visibilidades inferiores a 110 m, lo que pone de manifiesto que para esas visibilidades el conductor no se siente cómodo invadiendo el carril contrario.

5.7.4.1 Riesgos durante la ocupación del carril contrario

Sobre la ocupación del carril contrario, el Reglamento General de Circulación permite, como ya se ha indicado, la maniobra de adelantamiento a bicicletas en tramos con prohibición de adelantamiento cuando puedan ser adelantados sin riesgo para ellos ni para la circulación en general.

Si consideramos como primera hipótesis que existe riesgo cuando la maniobra de adelantamiento se produce cruzándose con un vehículo durante el tiempo de ocupación del carril contrario, nos encontramos 58 casos. En estos casos en los que se considera sólo el tiempo estricto de cruce, se han registrado valores medios de 1,87 m para la separación durante el adelantamiento y de 76 km/h para la velocidad.

No obstante, parece razonable entender que existe riesgo cuando el final del adelantamiento se produce próximo al cruce con otro vehículo (<2 s). En esta situación tendríamos 160 casos. En esta circunstancia, en la que, además de producirse ocupación del carril contrario, ésta ha coincidido con el cruce con un vehículo en sentido opuesto o éste se encontraba a menos de 2 s del final de la maniobra, la separación media fue de 1,83 m, ligeramente por debajo de la separación media cuando se ocupa el carril contrario (1,85 m), y la velocidad media se situó en los 77 km/h, similar a la media obtenida en esta circunstancia.

Finalmente, en la Figura 133 puede apreciarse como la tendencia a ocupar el carril contrario cuando existe tráfico en sentido contrario crece conforme aumenta el tiempo de cruce con un vehículo antes o después del adelantamiento. Aparentemente, a partir de los 10 s la presencia del vehículo contrario deja de condicionar sensiblemente la decisión de ocupar o no el carril contrario durante la maniobra de adelantamiento.

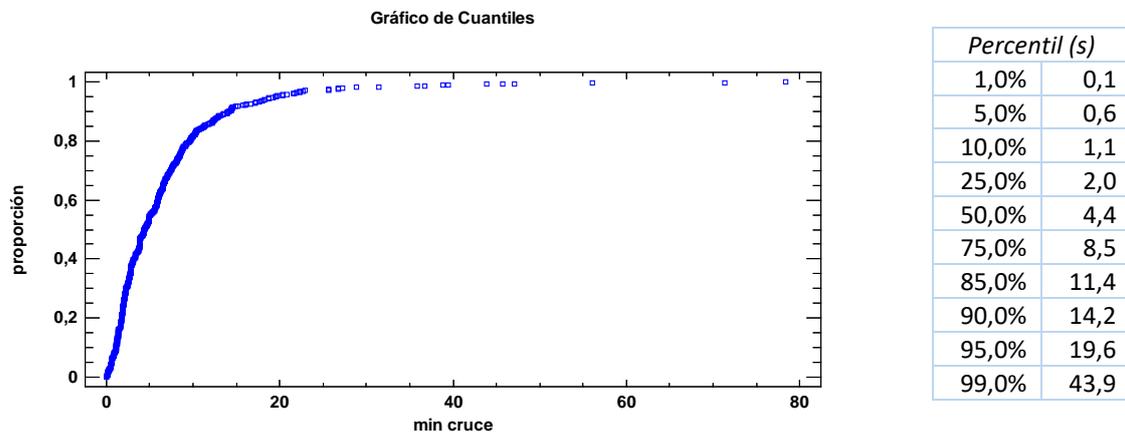


Figura 133. Ocupación del carril contrario en función del tiempo de cruce.

5.7.4.2 Tiempos de ocupación del carril contrario

Respecto a los tiempos de ocupación del carril contrario (Figura 134 y Figura 135), el valor medio ha sido de 3,2 s con valores mínimos de 0,3 s y máximos de 15,17 s.

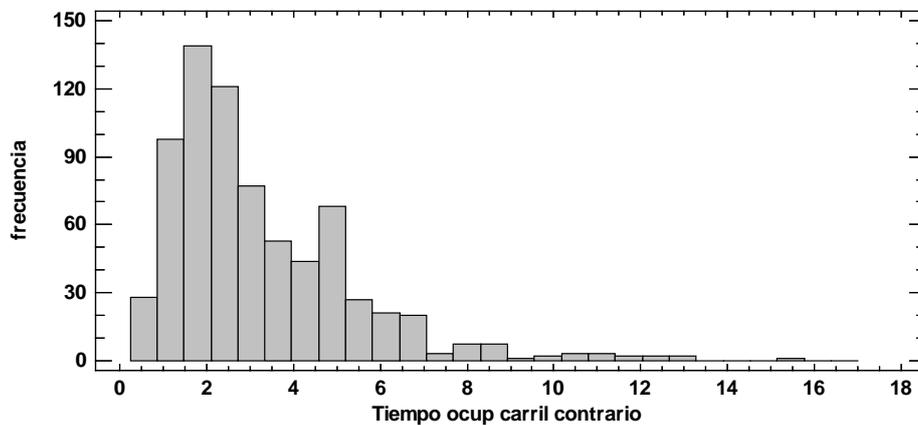
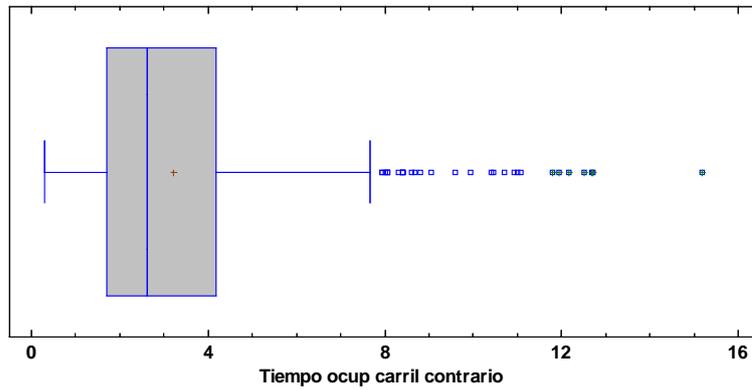


Figura 134. Histograma de tiempos (s) de ocupación del carril contrario.



Percentil	Tiempo (s)
1,0%	0,60
5,0%	0,90
10,0%	1,10
25,0%	1,70
50,0%	2,63
75,0%	4,17
85,0%	5,07
90,0%	5,95
95,0%	6,95
99,0%	11,07

Figura 135. Concentración de los valores del tiempo de ocupación del carril contrario.

De forma general, de las observaciones realizadas podemos aproximar que los tiempos de ocupación del carril contrario se sitúan entre los 2 y los 4 s, con un valor del percentil 85 de 5 s. Considerando los adelantamientos en los que, ocupándose el carril contrario, el tiempo de ocupación ha sido igual o inferior a esos 5 s, la separación neta media durante el adelantamiento se sitúa en 1,82 m, mientras que la velocidad media en estos casos se eleva hasta los 78,4 km/h.

En la Figura 136 puede apreciarse como los tiempos de ocupación son mayores conforme aumenta el tamaño del vehículo.

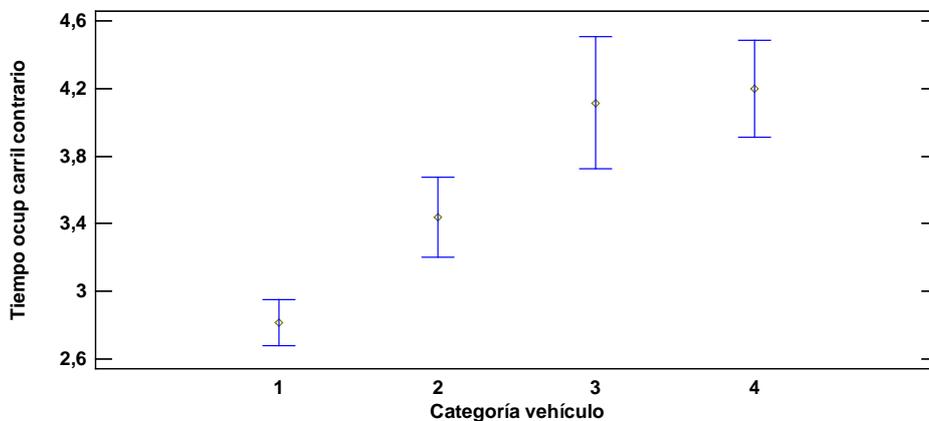


Figura 136. Tiempo (s) de ocupación del carril contrario según tipo de vehículo.

5.7.4.3 Longitud de ocupación del carril contrario

En aquellas maniobras en las que se ha producido ocupación del carril contrario es posible realizar una primera aproximación sobre la longitud necesaria para la maniobra considerando la velocidad de adelantamiento supuesta constante durante el tiempo que dura la ocupación observada a través de los vídeos (Figura 137).

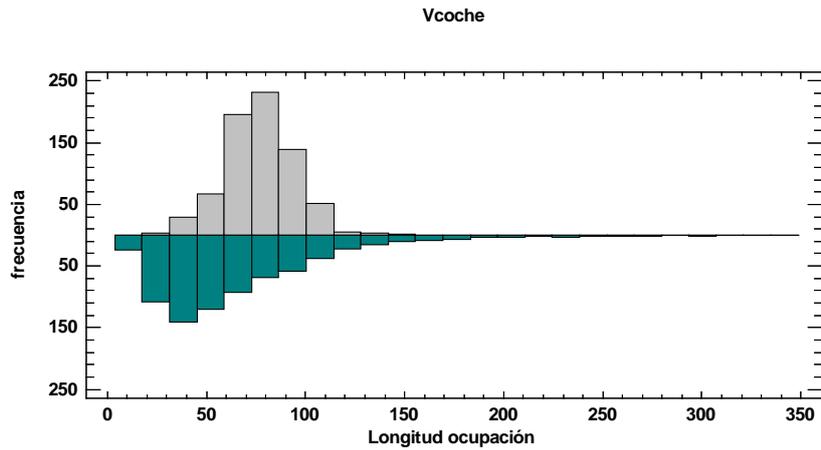


Figura 137. Velocidad frente a longitud de ocupación del carril contrario.

Aplicando esta simplificación, se deduce que la longitud de ocupación media se sitúa en los 66,4 m, con mínimos de 6,2 m y máximos de 305,8 m (Figura 138 y Figura 139).

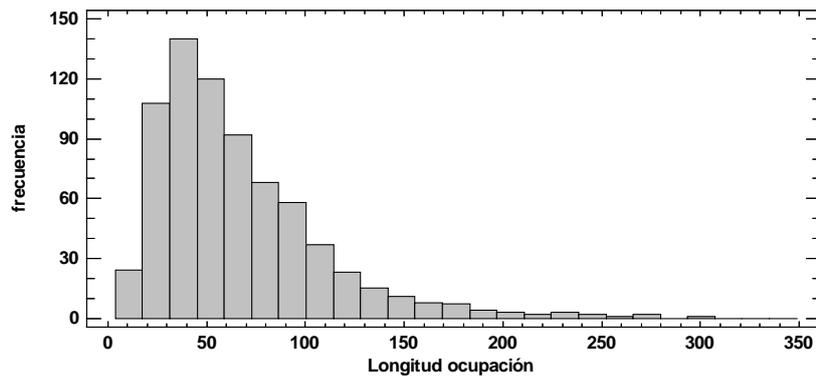
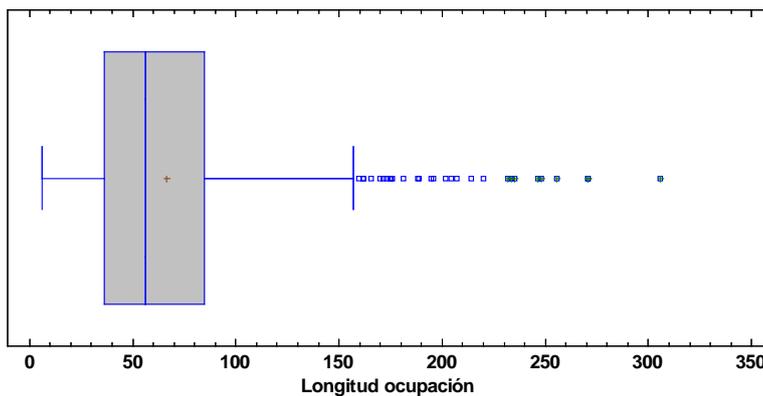


Figura 138. Histograma de longitudes de ocupación del carril contrario.



Percentil (m)	
1,0%	12,7
5,0%	19,6
10,0%	24,0
25,0%	36,3
50,0%	56,2
75,0%	84,8
85,0%	105,4
90,0%	119,9
95,0%	149,9
99,0%	233,3

Figura 139. Concentración de los valores de longitud de ocupación del carril contrario.

En general, la mayor parte de los adelantamientos con ocupación del carril contrario requieren una ocupación que oscila entre los 35 y los 85 m, situándose el percentil 85 en 105 m.

En la Figura 140 puede apreciarse como los tiempos de ocupación tienden a ser mayores conforme aumenta el tamaño del vehículo.

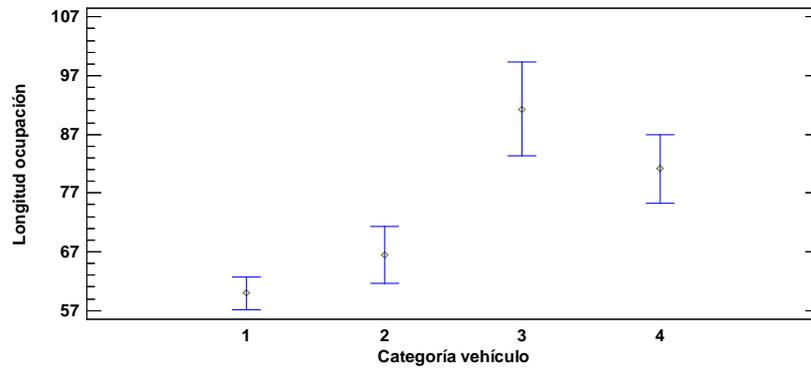


Figura 140. Longitud (m) de ocupación del carril contrario según tipo de vehículo.

5.8 Fuerzas sobre el ciclista

Al margen de la incidencia que parámetros como la separación lateral durante el adelantamiento o la velocidad durante el mismo tienen de manera independiente sobre la seguridad del ciclista, se debe tener en cuenta también la repercusión que puede tener la combinación de varios factores tales como la separación lateral, el tipo y tamaño del vehículo adelantante y la velocidad de éste durante el adelantamiento en la percepción de riesgo percibido por el ciclista y recogida en las observaciones transmitidas por el ciclista durante las pruebas.

5.8.1 Fuerzas aerodinámicas

El desplazamiento de un vehículo a través de un fluido, como es el aire, genera unos flujos aerodinámicos fruto del movimiento relativo del aire desde la zona frontal a la trasera, originando un bulbo de sobrepresiones en la superficie frontal del mismo, consecuencia de la compresión del aire atravesado, y una zona de subpresiones y turbulencias en su zona trasera fruto del vacío ocasionado.

Cuando un vehículo adelanta a otro (Figura 141), la proximidad entre ambos da lugar a la interacción de sus campos de flujo aerodinámicos generando una serie de fuerzas mutuas sobre ellos, ocasionando movimientos e inestabilidades más o menos acusadas en función de la diferencia de tamaño relativo.

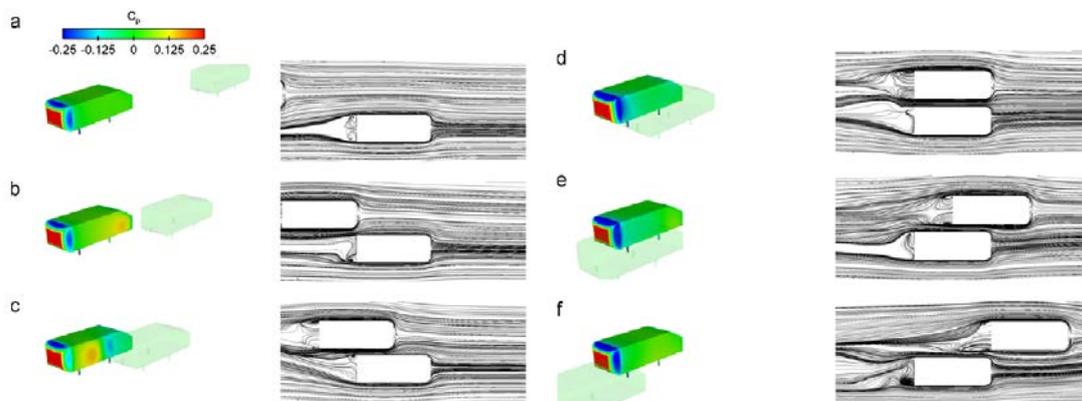


Figura 141. Interacción entre los flujos aerodinámicos durante el adelantamiento (Uystepuyst, y Krajnovic, 2013).

La magnitud de las fuerzas aerodinámicas movilizadas depende de las características del aire (viscosidad y densidad) y del vehículo (forma, superficie de contacto con el aire y su velocidad).

Concretamente, estas fuerzas aerodinámicas (Kato et al., 1981; Noger et al., 2005) obedecen a la fórmula:

$$F = \frac{1}{2} * C * A * \rho * V^2$$

Donde:

- F es la fuerza aerodinámica en N
- A es la superficie frontal en m^2
- ρ es la densidad del aire en kg/m^3
- V es la velocidad en m/s
- C es el coeficiente aerodinámico, adimensional.

Este es el punto de partida en el que se basan los modelos desarrollados en las investigaciones en las que se analizan las fuerzas aerodinámicas generadas entre vehículos adelantantes y adelantados.

En el caso de maniobras de adelantamiento, y tomando como referencia las investigaciones citadas en el análisis del estado del arte, de Kato et al. (1981), Noger et al. (2005) y Uystepuyst et al. (2013), las fuerzas generadas sobre el vehículo adelantado dependen de los coeficientes aerodinámicos:

- C_x relacionado con la fuerza de arrastre
- C_y relacionado con la fuerza lateral
- C_n relacionado con el momento de giro

De las investigaciones citadas se desprende que estos coeficientes no dependen de la velocidad relativa entre los vehículos y que guardan una relación lineal según Kato frente a la separación del vehículo adelantante (Figura 142) o frente al logaritmo de la relación entre la separación durante la maniobra y la anchura del vehículo adelantante según Noger (Figura 143).

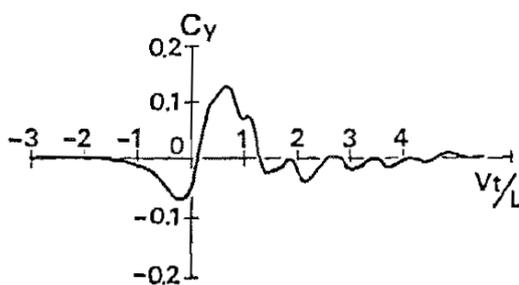


Fig. 7 - C_y variation

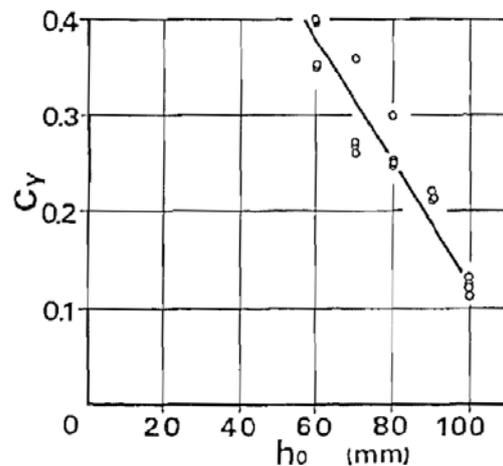


Fig. 9 - Second peak value of C_y

Figura 142. Coeficientes C_y propuestos por Kato.

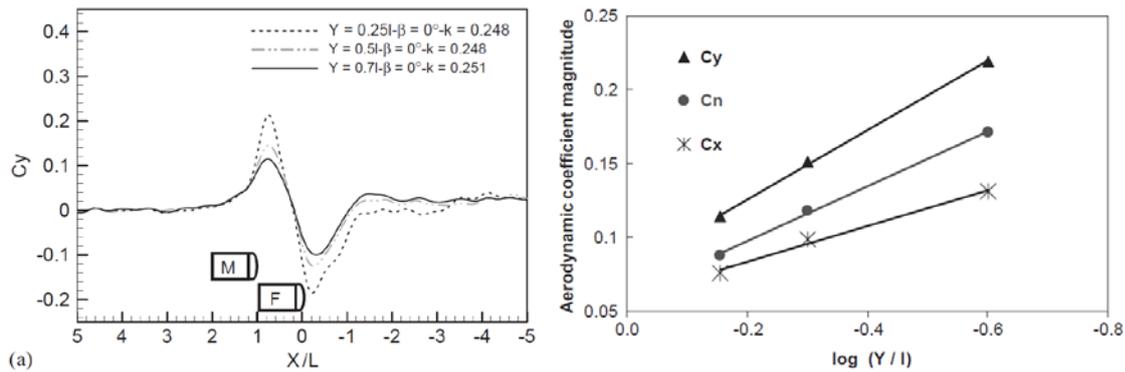


Figura 143. Coeficientes C_y propuestos por Noger.

Igualmente, de dichas investigaciones se concluye que la mayor fuerza transmitida y, por tanto, el mayor coeficiente aerodinámico, es la fuerza lateral vinculada al coeficiente C_y . Esta interacción máxima se produce en el momento en el que el frontal del vehículo adelantante alcanza la parte trasera del vehículo adelantado.

Atendiendo a lo anterior, agrupando los términos constantes y considerando la velocidad del vehículo adelante en el momento del adelantamiento, la fórmula general puede expresarse, para la fuerza lateral como:

$$F_y = K * C_y * V^2$$

En su experimento, Kato ensayó en un modelo a escala adelantamientos de un vehículo de 28 cm de ancho sobre una bicicleta con separaciones entre 6 y 10 cm, lo que supone relaciones entre la separación y el ancho (s/l) entre 0,21 y 0,36. Por su parte, Noger realizó sus ensayos modelizando el adelantamiento de un vehículo sobre otro vehículo similar, no una bicicleta, con relaciones concretas s/l para el vehículo adelantante de 0,25, 0,50 y 0,70.

Como puede apreciarse, la investigación de Noger abarca un rango más amplio de separaciones. Por otra parte, la parametrización de los coeficientes aerodinámicos que aporta tiene la ventaja de que permite analizar las fuerzas aerodinámicas generadas durante el adelantamiento por diferentes tipos de vehículos, con dimensiones distintas. Se puede estimar así, no sólo el efecto aerodinámico de un adelantamiento individualizado, si no, lo que es más importante, el efecto acumulado de todos los adelantamientos a los que está sometido un ciclista que circula a lo largo de un tramo de carretera, es decir, su exposición al riesgo.

No obstante, y centrándonos en los coeficientes C_y de Noger, si partimos de las dimensiones habituales de los tipos de vehículo categorizados en la presente investigación, el ancho habitual se puede fijar en 1,70 m para los vehículos de Tipo 1 y 2, en 2,00 m para los de Tipo 3 y en 2,50 m para los de Tipo 4. Esto implica que los coeficientes C_y obtenidos en las dos investigaciones citadas se localizarían en separaciones reales entre 0,40 m y 1,20 m en el primer caso, entre 0,50 m y 1,40 m en el segundo y entre 0,60 m y 1,75 m en el tercero. Como puede apreciarse, los valores máximos se quedan por debajo de las separaciones observadas durante los adelantamientos analizados en esta investigación. De hecho, sería deseable tener una referencia de la relación entre ancho de vehículo y separación a partir de la cual desaparecen los efectos

aerodinámicos. También sería deseable que la formulación no dependiese de otros parámetros como la densidad del aire, variable con la temperatura y la presión.

En este sentido, con anterioridad a las investigaciones citadas, en 1977 el US Department of Transportation, Federal Highway Administration (USDOT FHWA), en su publicación "A Bikeway Criteria Digest. The ABCD'S of Bikeways", recogía la relación entre la velocidad de adelantamiento de camiones a ciclistas y la fuerza transmitida en función de la separación mantenida durante la maniobra (Figura 144). Esta relación ha seguido incorporándose durante años, hasta la actualidad, como referencia a nivel internacional de la interacción entre vehículos pesados y ciclistas.

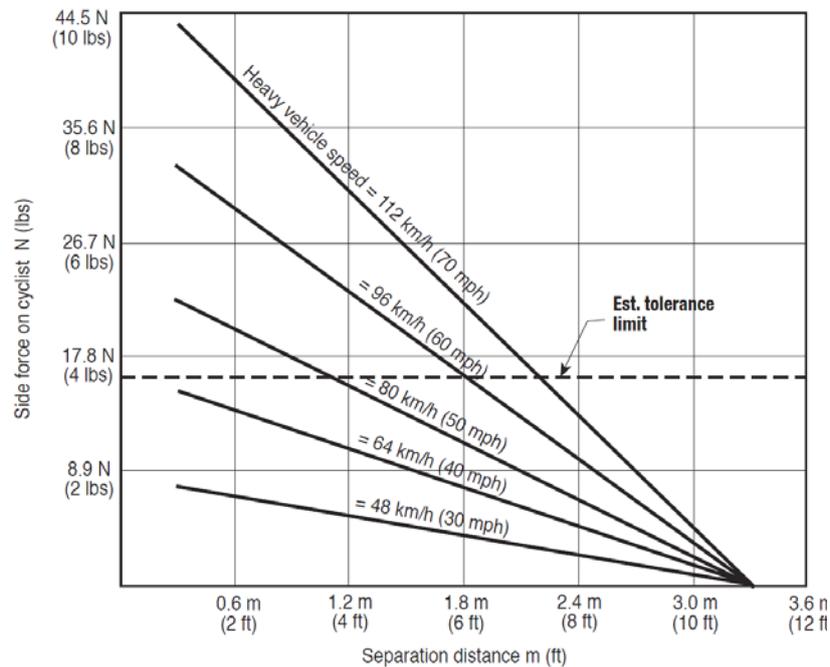


Figura 144. Relación entre la separación camión-ciclista durante el adelantamiento y la fuerza lateral sobre el ciclista. USDOT FWHA.

En ella se establece una correlación lineal entre la fuerza lateral y la separación durante el adelantamiento y que varía en función de la velocidad de los vehículos pesados durante la maniobra. En cualquier caso, se fija el límite admisible de la fuerza lateral sobre un ciclista en 3,7 lbs, unos 16,5 N. Éste es el efecto generado por un camión adelantando a un ciclista a una velocidad de 96 km/h y manteniendo una separación de 1,80 m. Igualmente, a partir de una separación de 3,3 m (11 pies) la maniobra de adelantamiento por parte de los vehículos pesados deja de tener efectos aerodinámicos sobre el ciclista. La fuerza lateral obedece, por tanto, a la formulación:

$$F_y = K * (3,3 - s) * V^2$$

Donde:

- F_y es la fuerza aerodinámica en N
- K es una constante en kg/m^2
- S es la separación durante el adelantamiento
- V es la velocidad durante el adelantamiento en m/s

Como puede apreciarse, la determinación de la fuerza lateral sobre el ciclista sólo es función de la separación y de la velocidad absoluta del camión durante la maniobra, englobándose en un único término constante otros parámetros como la densidad del aire.

Ahora bien, suponiendo una anchura estándar para un camión de 2,50 m, esto implica que para una relación separación/anchura de $3,3/2,50 = 1,32$ la fuerza generada es nula. Por tanto, la correlación lineal existente puede expresarse como:

$$F_y = K * (1,32 - s/l) * V^2$$

Donde:

- F_y es la fuerza aerodinámica en N
- K es una constante en kg/m
- S es la separación durante el adelantamiento en m
- l es la anchura del vehículo adelantante en m
- V es la velocidad durante el adelantamiento en m/s

Si a los valores de C_y propuestos por Noger se le incorpora el coeficiente $C_y=0$ correspondiente a la relación $s/l=1,32$ deducido de la correlación propuesta por la FHWA, se sigue observando una importante linealidad de correlación $r=-0,98531$ (Figura 145).

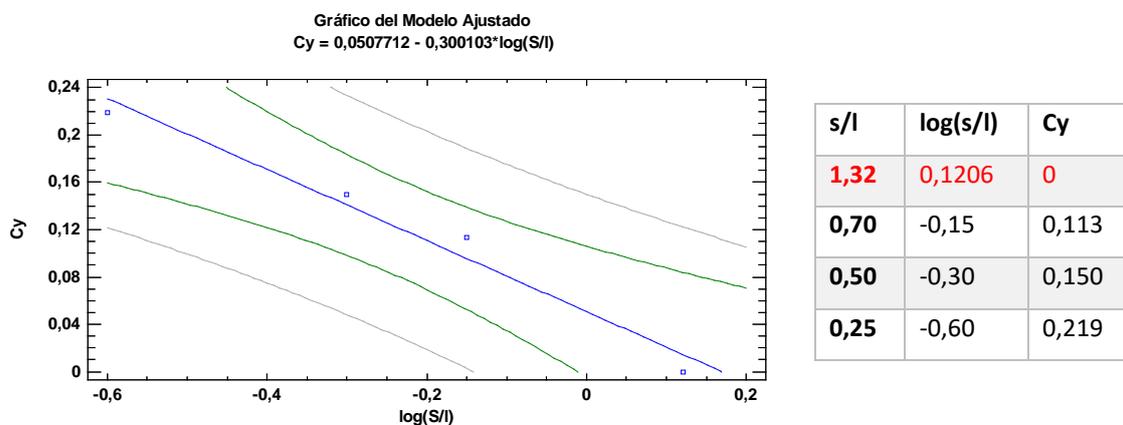


Figura 145. Correlación entre C_y y $\log(s/l)$.

No obstante, si se analiza la correlación de esos mismos coeficientes C_y , pero en función de la relación s/l , sin necesidad de recurrir a su logaritmo (Figura 146), se comprueba que los valores de C_y guardan también una linealidad significativa, con un coeficiente de correlación $r=0,995182$, mayor, incluso, que en el caso logarítmico.

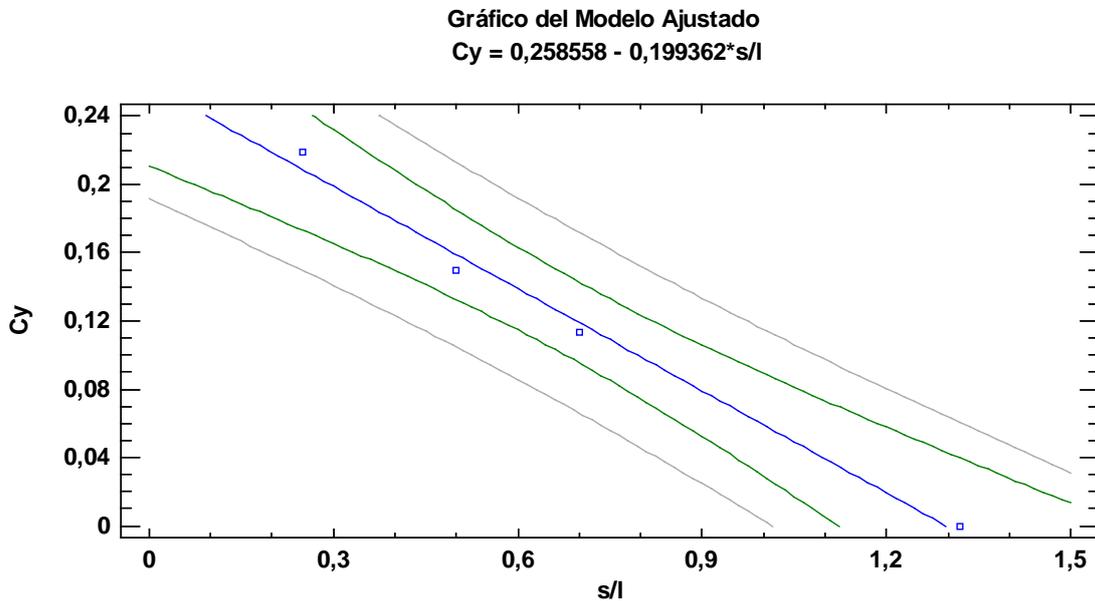


Figura 146. Correlación entre C_y y s/l .

Esta correlación se obtiene para $C_y=0,26-0,20*s/l$, o lo que es lo mismo:

$$C_y = \frac{1}{5}(1,30 - s/l)$$

Se constata así la sensible coincidencia con la expresión que rige la linealidad establecida por las recomendaciones de la FHWA.

Por tanto, es razonable utilizar el criterio propuesto por la FHWA para estimar las fuerzas a las que está sometido un ciclista cuando es adelantado por un vehículo en base a la siguiente relación:

$$F_y = K * (1,32 - s/l) * V^2$$

A partir de aquí, y haciendo que la ecuación cumpla con los valores propuestos por la FHWA, se obtiene el valor de la constante $k=1/26,1$, quedando de forma analítica como:

$$F_y = \frac{1}{26,1} * \left[1,32 - \frac{s}{l} \right] * V^2$$

Donde:

- S es la separación durante el adelantamiento (m). Dado que las fuerzas aerodinámicas son el fruto de interacciones entre las superficies de los vehículos, se utiliza la separación semimétrica recogida durante las maniobras de adelantamiento, sin descontar el vuelo del retrovisor. Esta separación se corresponde con la separación entre el extremo del manillar y el cuerpo del vehículo, de forma que, se estima que la superficie lateral izquierda del ciclista expuesta a la fuerza lateral se sitúa, aproximadamente, en un plano coincidente con el extremo del manillar.
- l es el ancho frontal del vehículo adelantante (m). Se adopta para los vehículos de Tipo 1 y 2 (ligeros, furgonetas pequeñas y todoterrenos) un ancho de 1,70 m, en el caso de los vehículos de Tipo 3 (furgonetas grandes y camionetas) un ancho de 2,00 m y para el caso de los vehículos de Tipo 4 (camiones y autobuses) un ancho de 2,50 m.
- V es la velocidad del vehículo adelantante (m/s).

La fórmula anterior, considerada la velocidad en km/h, queda como:

$$F_y = \frac{1}{338,256} * \left[1,32 - \frac{s}{l} \right] * V^2$$

Adicionalmente, esta formulación paramétrica permite la extensión de su uso a otros vehículos diferentes a los pesados, no requiere el uso de velocidades relativas e incorpora en forma de constante otros parámetros como la densidad del aire.

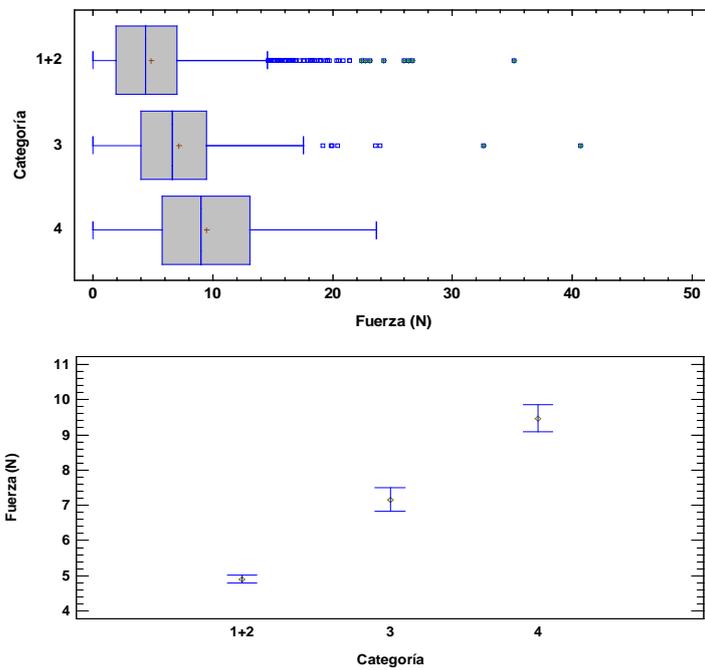
Por otra parte, de las consideraciones anteriores se obtienen algunas conclusiones directas. Partiendo de una relación s/l de 1,32 en la situación de fuerza nula, en el caso de los vehículos de Tipo 1 y 2 (ligeros, furgonetas pequeñas y todoterrenos) sus efectos sobre el ciclista desaparecerían para separaciones superiores a 2,24 m, mientras que en el caso de los vehículos de Tipo 3 (furgonetas grandes y camionetas) su efecto desaparecería para separaciones superiores a 2,64 m.

5.8.2 Fuerzas transmitidas al ciclista

Aplicada la formulación propuesta a cada uno de los adelantamientos (agrupados los vehículos T1 y T2 al tener la misma anchura) considerando la velocidad de adelantamiento y la separación semimétrica en cada uno de ellos, se aprecia, como era previsible, que el efecto más desfavorable va asociado a los vehículos de mayor tamaño, siendo significativa la diferencia en función del tipo de vehículo (Figura 147).

La aplicación de la formulación se ha realizado sin distinguir entre tipos de bicicleta adelantada al tratarse de una interacción aerodinámica entre objetos, independiente del tipo de bicicleta. En cualquier caso, tal y como ya se ha indicado anteriormente, aunque en el caso de las separaciones semimétricas medias existe una ligera diferencia significativa respecto a las de totalidad de la muestra, ésta es pequeña, en el entorno de los 3 cm. En el caso de las velocidades medias no existe una diferencia significativa clara respecto a la media de la totalidad de las

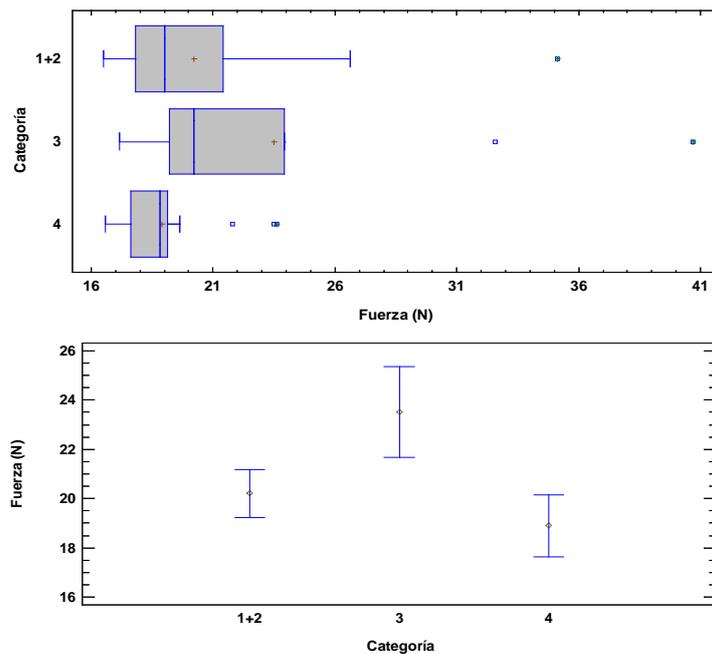
observaciones siendo, además, la diferencia entre los valores medios muy pequeña, del orden de 1 km/h. Adicionalmente, el efecto de la velocidad es mucho mayor en el resultado de la formulación propuesta al estar elevado al cuadrado en relación con el de la separación.



Categoría	Nº	$F_{med}(N)$	$F_{máx}(N)$
1+2	2.578	4,9	35,1
3	289	7,2	40,7
4	229	9,5	23,6
Total	3.096	5,5	40,7

Figura 147. Fuerzas aerodinámicas por tipo de vehículo

No obstante, si analizamos los adelantamientos en los que se supera la referencia admisible de los 16,5 N (Figura 148) es especialmente significativa la incidencia que tienen las furgonetas grandes y camionetas.



Categoría	Nº	$F_{med}(N)$
1+2	36	20,2
3	10	23,5
4	21	18,9
Total	67	20,3

Figura 148. Adelantamientos por tipo de vehículo que superan los 16,5 N.

En la Figura 149 se observa la incidencia de la separación en las fuerzas soportadas por el ciclista durante el adelantamiento. Se aprecia que el límite tolerable se supera con separaciones mínimas que se sitúan en el intervalo 0,84 a 2,22 m. Por tanto, la separación mínima de 1,50 m fijada en el Reglamento General de Circulación no garantizaría de manera absoluta la seguridad de los ciclistas.

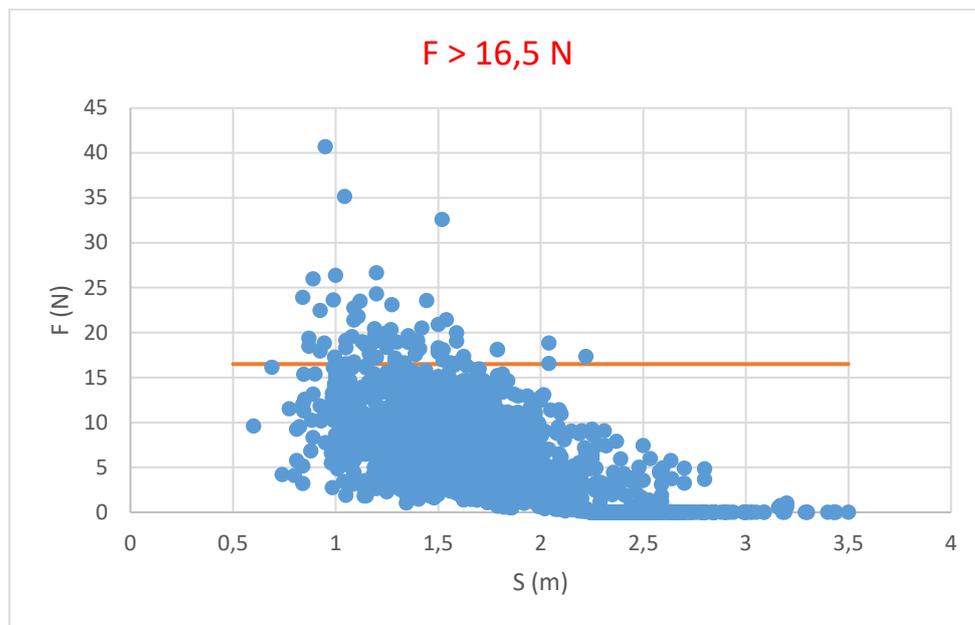


Figura 149. Distribución de fuerzas en función de la separación durante el adelantamiento.

Por otra parte, si atendemos a la velocidad durante el adelantamiento (Figura 150), se aprecia que en la totalidad de los adelantamientos en los que se ha superado la referencia de 16,5 N la velocidad de adelantamiento se situaba por encima de los 80 km/h.

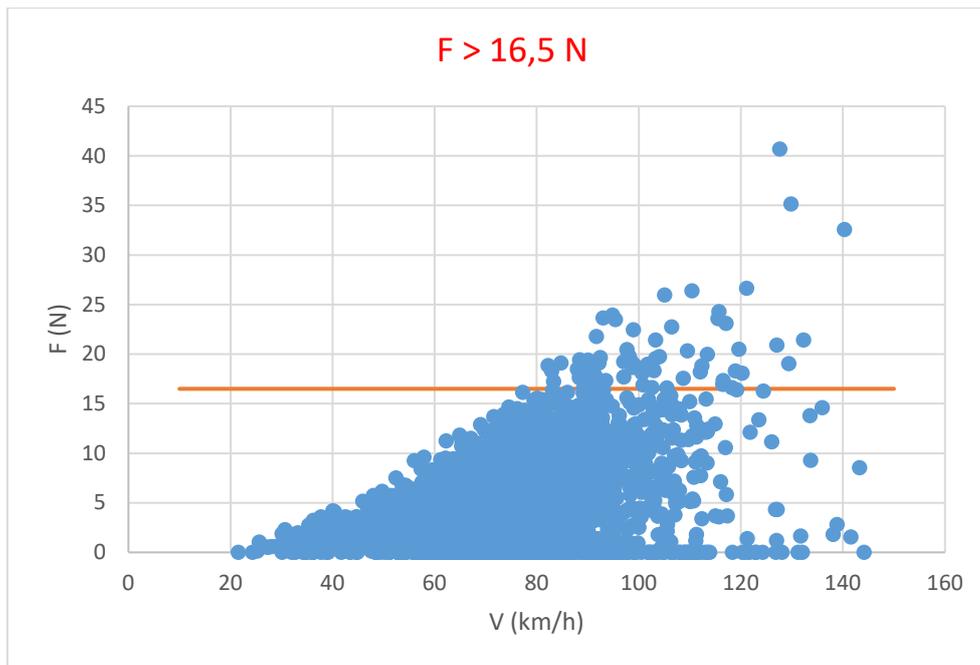


Figura 150. Distribución de fuerzas en función de la velocidad durante el adelantamiento.

Como puede apreciarse, si analizamos conjuntamente separación y velocidad (Figura 151) la mayoría de los casos se dan con separaciones entre 0,80 y 1,60 m de separación semineta con velocidades superiores, como ya se ha comentado, a los 80 km/h.

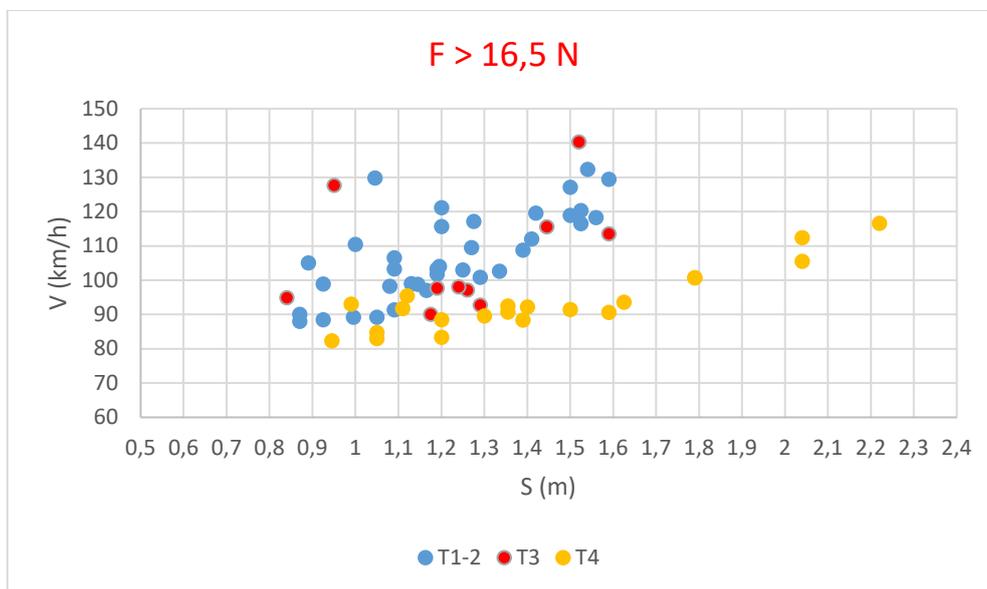


Figura 151. Relación entre separación y velocidad para adelantamientos con $F > 16,5$ N por categoría de tráfico.

Puede apreciarse que la práctica totalidad de los casos se producen a causa de adelantamientos de coches, furgonetas y camionetas con separaciones seminetas entre 0,80 m y 1,60 m (separaciones netas inferiores a 1,50 m) y con velocidades superiores a 90 km/h. Aunque se han detectado algunos casos aislados de furgonetas o camionetas con comportamientos anómalos, en general parece que se pueden integrar dentro del comportamiento de los vehículos ligeros,

circunstancia ésta importante a nivel práctico dado que habitualmente no existe distinción entre ellos en los datos de aforos.

En el caso de los camiones, y dejando al margen algunos casos anómalos, es la franja entre 0,90 m y 1,60 m y velocidades entre 80 km/h y 95 km/h la más significativa, aunque se han detectado en algunos casos aislados velocidades excesivamente elevadas, por encima de los 100 km/h.

5.8.3 Estabilidad del ciclista

Las fuerzas a las que está sometido el ciclista tienen, como primera consecuencia directa, una incidencia sobre su estabilidad. Para realizar una primera aproximación sobre esta incidencia, se va a tomar como referencia un ciclista adulto sobre una bicicleta de carretera, adoptando un modelo TRIBAN 500 de la marca BTWIN como la utilizada en las observaciones llevadas a cabo.

La posición de un ciclista en una bicicleta tiende a ser aquella en la que su centro de gravedad se sitúa sobre la vertical del eje de los pedales de forma que le permita apoyar todo su peso en cada pedalada y transmitir así la máxima potencia. La posición del centro de gravedad del ciclista es función, básicamente, de su disposición sobre la bicicleta, la cual viene condicionada por su longitud de entrepierna, relacionada directamente con su altura.

Existen diversos tipos de estudios y recomendaciones para establecer la altura del sillín de una bicicleta (González y García, 2014). Entre los más sencillos se encuentran los estudios antropométricos que consisten en tomar como referencia las dimensiones antropométricas de los ciclistas y multiplicarlas por una constante, siendo uno de los más habituales el de considerar que la distancia del sillín se sitúe a un 88,5 % de la longitud de la entrepierna respecto al eje de los pedales. Igualmente, tomando como referencia las propuestas antropométricas de Le Corbusier (1948), la longitud de la entrepierna es, aproximadamente, un 48 % de la altura.

La altura media de los jóvenes entre 18 y 34 años es de 175,3 cm según el estudio antropométrico de la población española realizado entre 2013 y 2014 por el Instituto de Biomecánica de Valencia. Tomando como referencia una altura de 175 m, la longitud de la entrepierna será, aproximadamente, de 84 cm, por lo que la distancia recomendable del sillín respecto al eje del pedalier será de unos 74,3 cm. Dado que el tubo del asiento del marco de la bicicleta está inclinada 16,5° respecto a la vertical, la altura respecto al eje de los pedales será de 71,2 cm. Si a esa altura le sumamos los 27,5 cm correspondientes a la altura del eje de los pedales hasta el suelo, tendremos que la superficie del sillín se encuentra a 99 cm del suelo (Figura 152).

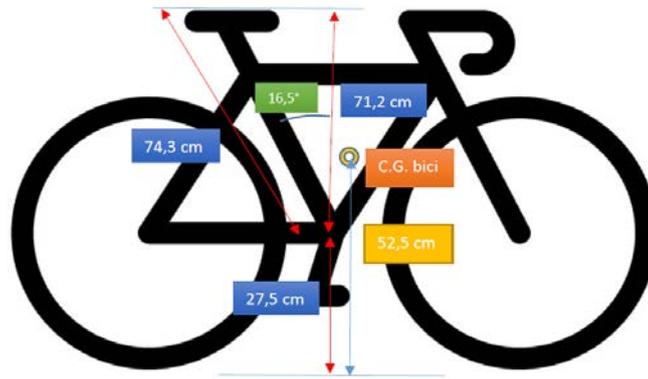


Figura 152. Referencias geométricas de la bicicleta.

Por otra parte, el centro de gravedad del cuerpo de un varón, aunque variable ligeramente de unas personas a otras, se localiza aproximadamente (Miralles, 2007) por delante de la vértebra lumbar L5, a la altura de la parte superior de la pelvis (cresta ilíaca). Tomando como referencia las proporciones antropométricas citadas, ese punto se localiza a un 10 % de su altura sobre la entrepierna, es decir, a unos 17,5 cm de altura sobre el sillín, una vez sentado el ciclista. De esta forma, el centro de gravedad del ciclista se puede localizar, como primera aproximación, a 1,17 m del suelo.

Adicionalmente, es necesario conocer el peso del ciclista, así como el de la bicicleta. Respecto al ciclista, de tipo aficionado no profesional, para una altura de 1,75 m y un índice de masa corporal (IMC) de 24, situado por debajo del límite de lo considerado como máximo normal deseable (IMC=25), su peso de referencia podemos establecerlo en unos 73,5 kg, a los que, sumándoles la equipación, nos da un peso total aproximado de 75 kg.

Por su parte, el peso de la bicicleta junto con sus accesorios, es de unos 11,5 kg y su centro de gravedad se sitúa, aproximadamente, a unos 52,5 cm del suelo. Por tanto, acoplado ciclista y bicicleta, el peso del conjunto es de unos 86,5 kg y su centro de gravedad se situará a 1,08 m del suelo, aproximadamente (Figura 153).

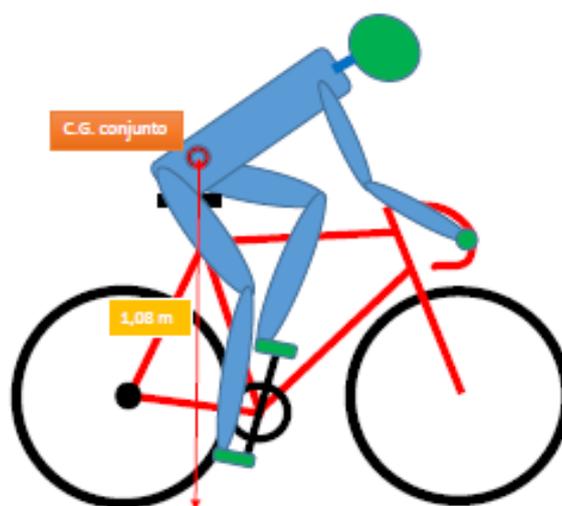


Figura 153. Centro de gravedad del ciclista.

Tomando como referencia los datos anteriores, la fuerza de 16,5 N implica una inclinación lateral equivalente del ciclista para contrarrestar la fuerza transversal de unos 21 cm (Figura 154), en el límite de la proyección exterior del manillar de la bici de carretera, situado a unos 23 cm de su eje.

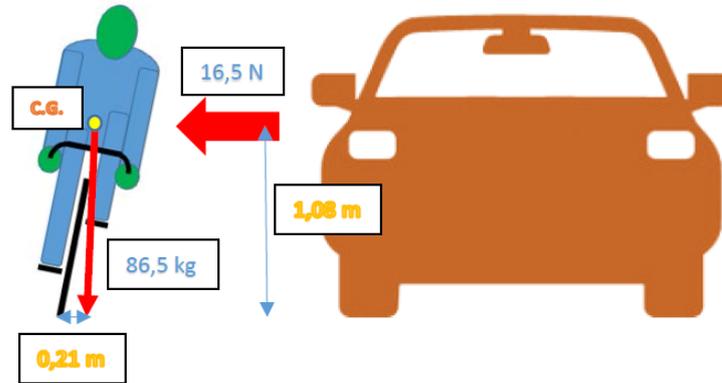


Figura 154. Inclinación lateral equivalente contrarrestando fuerza lateral, ciclista sentado.

Esta situación se corresponde con la de un ciclista rodando sentado sobre la bicicleta a un ritmo sensiblemente uniforme, situación en la que el desplazamiento del ciclista y la bicicleta se produce prácticamente en un plano vertical, sin casi oscilaciones. Sin embargo, existen determinadas situaciones en las que el ciclista se levanta del sillín para pedalear de pie, bien para aumentar el ritmo, impulsar la bicicleta o subir una rampa. En estas circunstancias, el ciclista busca la manera de aplicar mayor fuerza sobre los pedales intentando que casi todo su peso caiga directamente sobre los pedales. Para ello, además de levantarse, el ciclista inclina alternativamente la bicicleta de derecha a izquierda, hacia el lado contrario al de la pierna que en ese momento está impulsando la pedalada, de forma que su centro de gravedad se mantenga sensiblemente en la vertical que pasa por el punto de contacto de la rueda con el suelo (Figura 155).

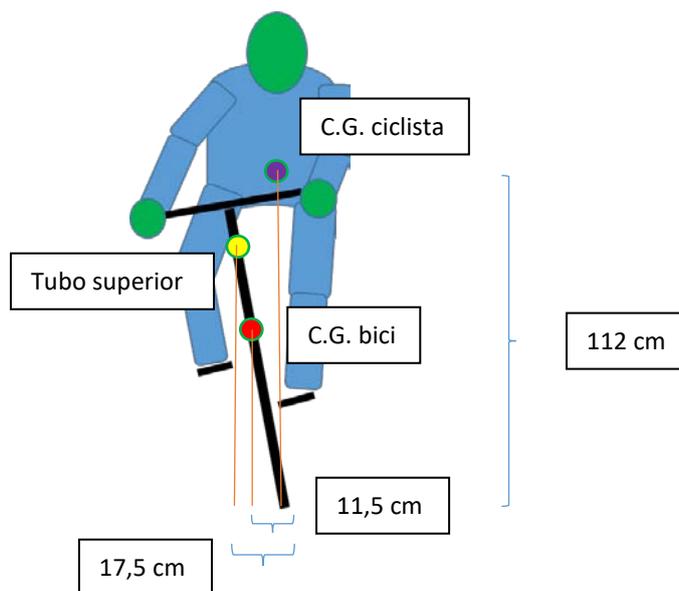


Figura 155. Ciclista en pedaleo de pie.

En esta posición, el ciclista se encontrará en una situación más inestable ante una maniobra de adelantamiento en la fase de pedaleo en la que la oscilación de la bicicleta se dirija hacia su derecha, en el mismo sentido que la fuerza sufrida durante la maniobra de adelantamiento.

No obstante, ese desplazamiento lateral de la bicicleta está limitado físicamente por el choque del tubo superior del marco de la bicicleta, situado a 80 cm del suelo en la bicicleta de referencia, con la pierna del ciclista, acotado, a su vez, por el ancho de su cadera. Este ancho es, aproximadamente, de un 10 % de su altura a cada lado de su eje según las proporciones referenciadas. Esto equivale a 17,5 cm. Un desplazamiento de esta magnitud del tubo superior del marco de la bicicleta situado a 80 cm de altura como se ha indicado, implica un desplazamiento en esa misma dirección del centro de gravedad de la bicicleta (localizado a 52,5 cm del suelo), de 11,5 cm.

Igualmente, al ponerse de pie el ciclista, su centro de gravedad se eleva, situándose aproximadamente, según la referencia antropométrica citada, a un 58 % de su altura, 102 cm. Sumándole la altura del pedal al suelo en su punto más bajo coincidente con la máxima elongación de la pierna impulsora, 10 cm en la bicicleta de referencia, su centro de gravedad se situará a 112 cm del suelo en ese momento.

En esa posición, en el momento del adelantamiento el ciclista debe compensar tanto la fuerza hacia el exterior generada por el vehículo adelantante como el momento de vuelco adicional debido al desplazamiento hacia el exterior de la bicicleta. Para ello, el ciclista debería aplicar una contrainclinación al conjunto equivalente a un desplazamiento hacia la izquierda del centro de gravedad de su cuerpo de 26 cm para contrarrestar el desequilibrio.

No obstante, si marcamos como límite razonable de equilibrio que esa oscilación se sitúe dentro de la proyección del borde del manillar correspondiente al caso de una bicicleta de montaña, unos 30 cm, el límite de fuerza máximo subiría hasta 24 N. Este valor es inferior al de la fuerza límite que superaría el rozamiento neumático-pavimento y que para un valor de $\mu=0,40$, umbral mínimo aceptable para una rodadura según los criterios del Ministerio de Fomento, se situaría en unos 34,6 N.

Como puede apreciarse en la Figura 156, Figura 157 y Figura 158, el número de adelantamientos por encima de ese valor es escaso y fruto de velocidades muy altas con separaciones bajas.

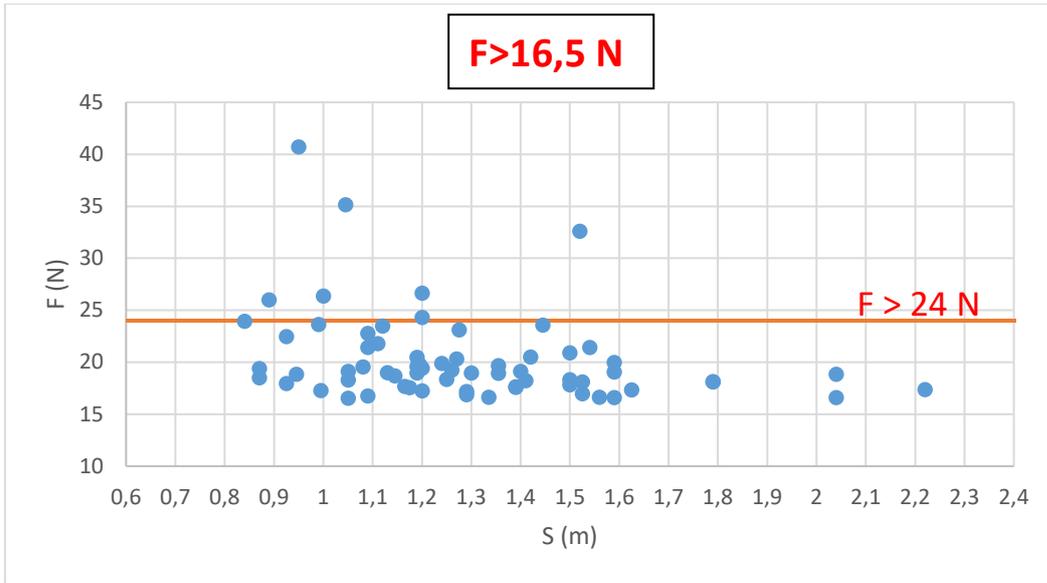


Figura 156. Distribución de fuerzas superiores a 16,5 N en función de la separación semineta durante el adelantamiento.

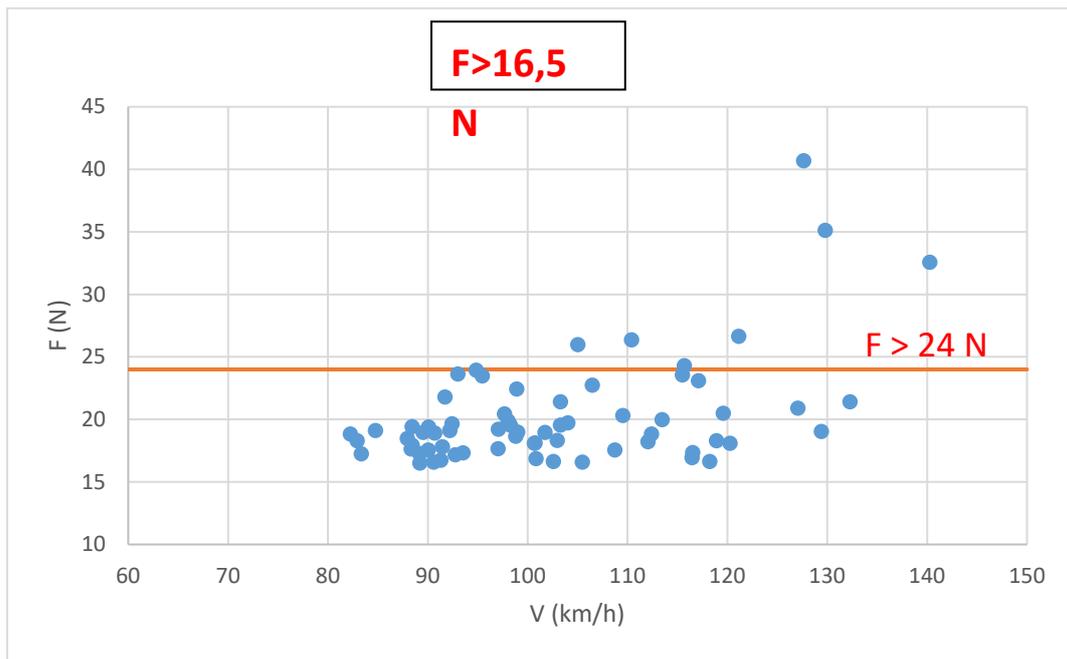


Figura 157. Distribución de fuerzas superiores a 16,5 N en función de la velocidad durante el adelantamiento.

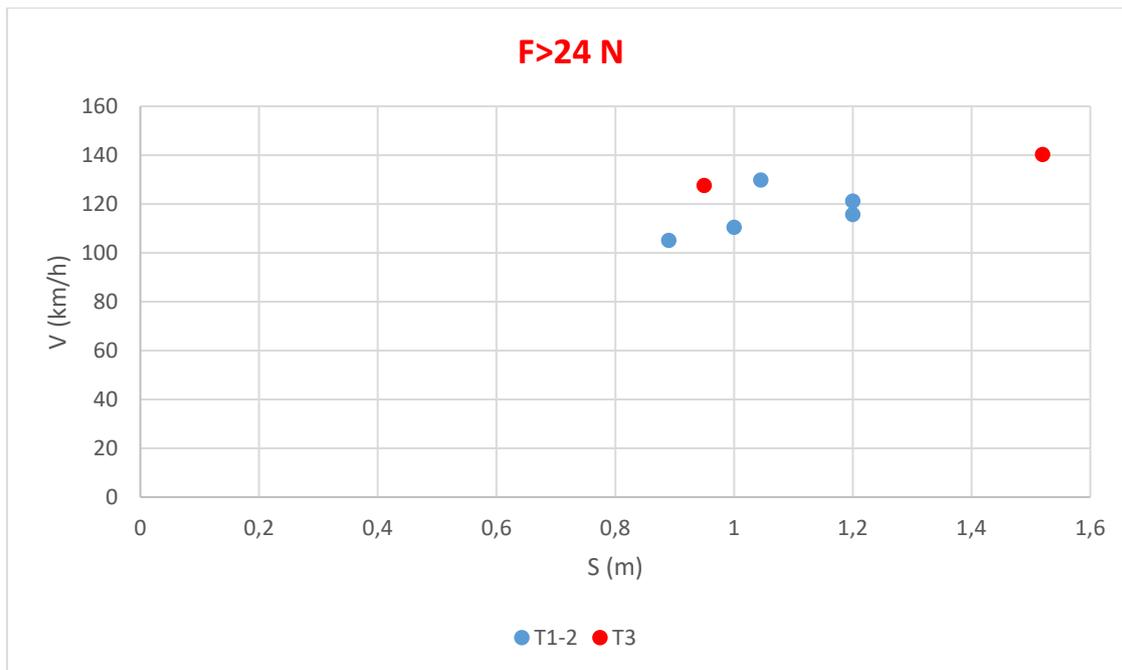


Figura 158. Relación entre separación y velocidad para adelantamientos con $F > 24 N$ por categoría de tráfico.

5.8.4 Exposición al riesgo

La seguridad de un ciclista no cabe analizarla sólo en base al efecto individualizado de los adelantamientos. Cuando un ciclista circula por un tramo de carretera está sometido a múltiples adelantamientos, lo que da lugar a una exposición al riesgo que es función del volumen y tipo de tráfico que le adelanta y de las velocidades y separaciones durante la maniobra.

Esta exposición tiene dos vertientes. Por un lado, debe considerarse la magnitud de las fuerzas laterales. Por otro lado, debe evaluarse la frecuencia con la que el ciclista soporta esa carga a lo largo de su trayecto y nos da información sobre el mayor o menor confort del itinerario.

La primera de ellas podemos evaluarla a través de los valores medios o, lo que es más representativo, a través de los percentiles de fuerzas soportados, fundamentalmente el percentil 85. Este percentil es el utilizado como referencia para establecer la velocidad máxima que el usuario considera como segura en condiciones normales de circulación.

La segunda de ellas se puede estimar en función del número de adelantamientos soportados en el tiempo en el que se desarrolla el recorrido ciclista.

5.8.4.1 Magnitud de las fuerzas soportadas

Partiendo de los valores de fuerzas obtenidas para cada adelantamiento es posible evaluar la exposición al riesgo del ciclista circulando por cada una de las carreteras utilizadas en la investigación (Figura 159).

La carretera N-225 es la que se muestra significativamente más peligrosa, mientras que la de CV-333 a Náquera es la que se muestra como más segura. Entre el resto de carreteras no

aparecen diferencias del todo significativas, aunque sí que muestran una escala creciente en sus valores medios.

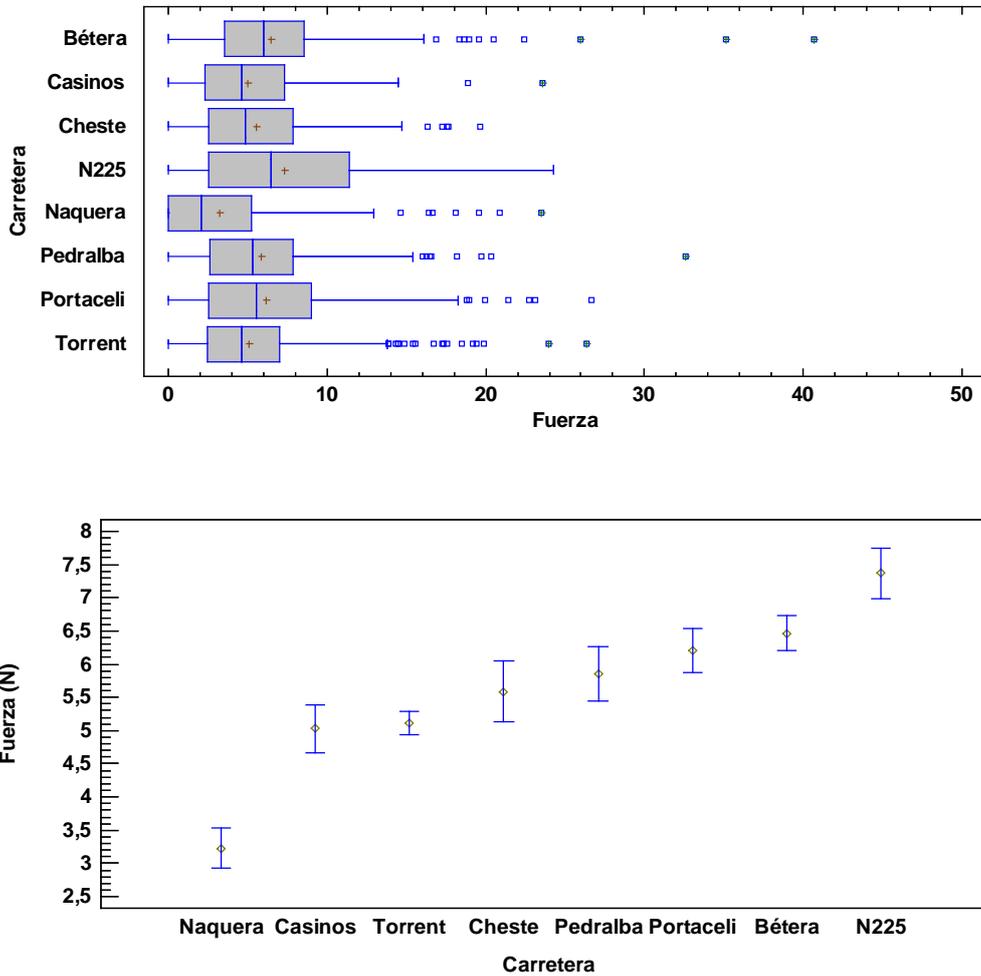


Figura 159. Fuerzas soportadas por el ciclista por carreteras.

En la Tabla 45 se reflejan ordenados los valores de las fuerzas correspondientes a los percentiles 50 y 85 del conjunto de fuerzas calculadas para cada una de las carreteras. Puede apreciarse que en ambos percentiles coincide prácticamente el orden de las carreteras salvo en el caso de las de Portaceli y Bétera que se invierte de un percentil al otro.

Tramo	Carretera	F ₅₀ (N)		Tramo	Carretera	F ₈₅ (N)
Náquera	CV-315	2,1		Náquera	CV-315	7,0
Torrent	CV-405	4,6		Torrent	CV-405	8,7
Casinos	CV-3505	4,7		Casinos	CV-3505	8,9
Cheste	CV-50	4,9		Cheste	CV-50	9,6
Pedralba	CV-376	5,4		Pedralba	CV-376	9,9
Portaceli	CV-333	5,5		Bétera	CV-310	10,1
Bétera	CV-310	6,0		Portaceli	CV-333	10,8
Algar	N-225	6,5		Algar	N-225	14,1

Tabla 45. Valores ordenados de los percentiles 50 y 85 de la fuerza ordenados por carreteras.

Por otra parte, atendiendo a las observaciones aportadas por el ciclista durante las pruebas, en la Tabla 46 se recoge la percepción subjetiva global sobre la peligrosidad de cada tramo.

Tramo	Carretera	Peligrosidad
Náquera	CV-315	Baja
Torrent	CV-405	Baja
Casinos	CV-3505	Media
Cheste	CV-50	Media
Pedralba	CV-376	Alta
Portaceli	CV-333	Alta
Bétera	CV-310	Muy Alta
Algar	N-225	Muy Alta

Tabla 46. Percepción de riesgo transmitida por el ciclista.

Se observa la existencia de una agrupación en lo que podríamos llamar un riesgo bajo, medio, alto y muy alto. Si atendemos a las observaciones aportadas por el propio ciclista, la percepción de riesgo apreciada durante las pruebas se enmarca en el orden de los resultados obtenidos para los percentiles 50 estimados en cada carretera y también para el percentil 85, con la excepción del cambio de orden de las carreteras de Portaceli y Bétera.

Por tanto, partiendo de lo anterior, y tomando como referencia para cada carretera el valor del percentil 85 de la fuerza, podemos categorizar el nivel de riesgo de cada una de ellas. Los niveles de riesgo propuestos se recogen en la Tabla 47 y de forma gráfica en la Figura 161.

NIVEL	PORCENTAJE	F ₈₅ (N)
1	< 40 %	6,6
2	40% - 60%	6,6-9,9
3	60% - 80%	9,9-13,2

Tabla 47. Niveles de riesgo en función de la F₈₅.

Finalmente, se analiza el efecto resultante de considerar las fuerzas generadas por los vehículos comprendidos en el percentil 85 de la separación semineta, por los comprendidos en perfil 85 de la velocidad y por los que tanto su separación semineta como su velocidad se sitúan bajo ese percentil. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 48 y puede observarse cómo los valores de la F₈₅ son ligeramente superiores cuando consideramos el percentil S₈₅, manteniéndose sensiblemente el orden de peligrosidad. Lo contrario ocurre cuando se considera el percentil de V₈₅ como referencia, para cuyos valores se obtienen resultados de F₈₅ inferiores, manteniéndose un orden relativamente similar. En el caso de los adelantamientos que cumplen ambos percentiles se obtienen resultados intermedios.

Carretera	F ₈₅	F ₈₅ (S ₈₅)	F ₈₅ (V ₈₅)	F ₈₅ (S ₈₅ &V ₈₅)
Náquera	7,0	7,5	6,1	6,7
Torrent	8,7	9,4	7,8	8,3
Casinos	8,9	9,3	8,2	8,5
Cheste	9,6	10,2	9,5	10,0
Pedralba	9,9	10,5	8,5	8,9
Bétera	10,1	10,4	9,3	9,6
Portaceli	10,8	11,4	9,8	10,2
N225	14,1	14,7	14,1	14,7

Tabla 48. F₈₅ frente a F₈₅ para valores por debajo de S₈₅

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas se ha analizado la posibilidad de establecer una correlación entre ese valor de la F₈₅ previsible para una carretera y algunos de los diferentes parámetros vinculados al diseño (sección transversal o velocidad) o a la circulación (composición del tráfico). El mejor ajuste establecido (Figura 160), con valores de R²= 91,5 % y R² ajustado = 88,1 %, permite correlacionar, con un nivel de confianza superior al 95%, dicho valor de la F₈₅ con el ancho de la semiplataforma y la categoría de tráfico, concretamente, el porcentaje de vehículos pesados:

$$F_{85} = 13,74 + 0,33*\%P - 1,43*Semiplat$$

Donde:

- **F₈₅** es la fuerza previsible para el percentil 85 en N.
- **%P** es el porcentaje de vehículos pesados en tanto por ciento.
- **Semiplat** es el ancho de la semiplataforma en m.

Gráfico de F85

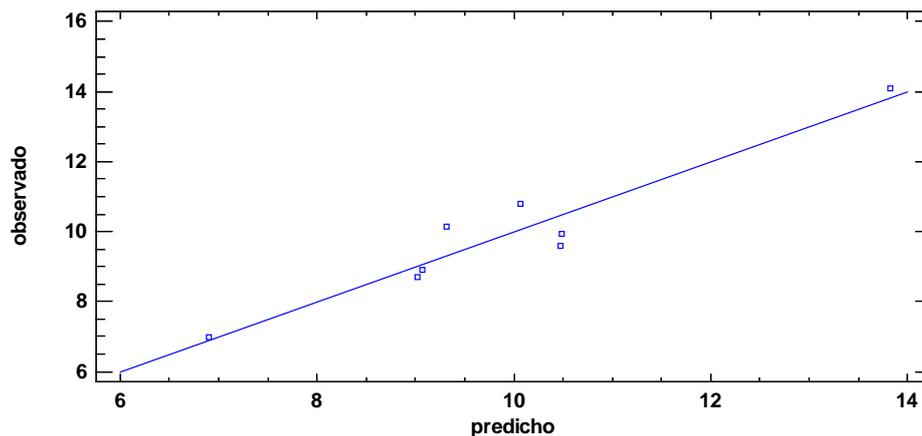


Figura 160. Bondad del ajuste de la correlación entre F₈₅, %P y anchura de la semiplataforma.

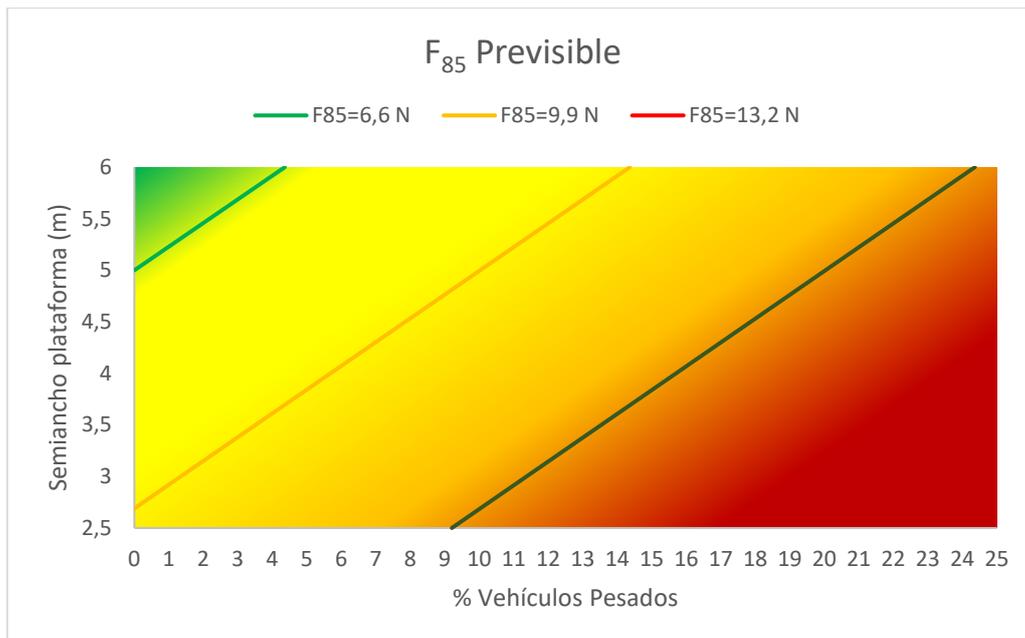


Figura 161. Niveles de riesgo.

Existe la posibilidad de combinar también la V_{85} libre con los parámetros anteriores. El mejor ajuste establecido, con valores de $R^2= 91,8 \%$ y R^2 ajustado = $85,7 \%$, permite correlacionar, con un nivel de confianza superior al 95%, el valor de la F_{85} con el ancho de la semiplataforma, el porcentaje de vehículos pesados y la citada V_{85} .

$$F_{85} = 11,88 + 0,02 * V_{85 \text{ Libre}} + 0,30 * \%P - 1,40 * \text{Semiplat}$$

No obstante, el término V_{85} no es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95%. Esta circunstancia se pone de manifiesto en todas las correlaciones múltiples en las que se ha hecho participar a ese parámetro.

5.8.4.2 Frecuencia de los adelantamientos y grado de exposición al riesgo

Adicionalmente al valor individualizado de las fuerzas que tiene que soportar el ciclista, es importante determinar la intensidad o frecuencia con la que sufre los adelantamientos. Este parámetro permite estimar el grado adicional de exposición al riesgo como consecuencia del mayor o menor volumen de adelantamientos durante el recorrido. Igualmente, aporta una aproximación al mayor o menor confort del mismo. Para ello se va a partir del conjunto de adelantamientos, pero descartando aquellos que transmiten una fuerza por debajo de los 6,6 N, magnitud que se ha establecido como de riesgo bajo.

En la Tabla 49 se recogen los tiempos de las pruebas en cada carretera, los adelantamientos junto con las fuerzas calculadas y los ratios respecto a las fuerzas.

Carretera	F ₈₅ (N)	T(h)	T(min)	F > 6,6 N		
				Nº Veh	ΣF (N)	FT (N/min)
Bétera	10,1	4,690	281,4	215	2.167,3	7,7
Casinos	8,9	4,566	274,0	81	761,9	2,8
Cheste	9,6	1,830	109,8	58	592,5	5,4
N-225	14,1	2,308	138,5	118	1.443,4	10,4
Náquera	7,0	5,493	329,6	61	603,1	1,8
Pedralba	9,9	4,609	276,6	73	769,8	2,8
Portaceli	10,8	5,012	300,7	128	1.371,3	4,6
Torrent	8,7	4,780	286,8	306	2.917,5	10,2

Tabla 49. Factores de exposición al riesgo por carreteras

Se aprecia cómo la mayor carga de fuerza F_{85} no tiene por qué coincidir con la frecuencia de exposición que sufre el ciclista. Es el caso de la carretera CV-405, Torrent, que, siendo la segunda menos significativa a efectos de fuerzas absolutas F_{85} , es, por el contrario, la segunda carretera en la que el ciclista tiene que soportar mayor frecuencia de fuerza acumulada debido a los adelantamientos, siendo mayor, por tanto, la exposición al riesgo que tiene que soportar el ciclista.

Este parámetro de frecuencia temporal de fuerza acumulada FT (N/min) proporciona un indicador de la exposición al riesgo a la que está sometido el ciclista. Con los datos obtenidos es posible establecer una correlación con la IMD de la carretera. El mejor ajuste establecido (Figura 162). Bondad del ajuste de la correlación de FT con la F_{85} y la IMD), con valores de $R^2 = 89,2\%$ y R^2 ajustado = $84,9\%$, permite correlacionar, con un nivel de confianza superior al 95%, el nivel de exposición al riesgo con la IMD de la carretera y con el valor de F_{85} previsible.

$$FT = -11,00 + 1,28 * F_{85} + 0,00071 * IMD$$

Donde:

- FT es la frecuencia de fuerza acumulada de exposición previsible en N/min.
- F_{85} es el percentil 85 de la fuerza previsible para esa carretera en N.
- IMD es la Intensidad Media Diaria de la carretera en veh/día.

Gráfico de FT (N/min)

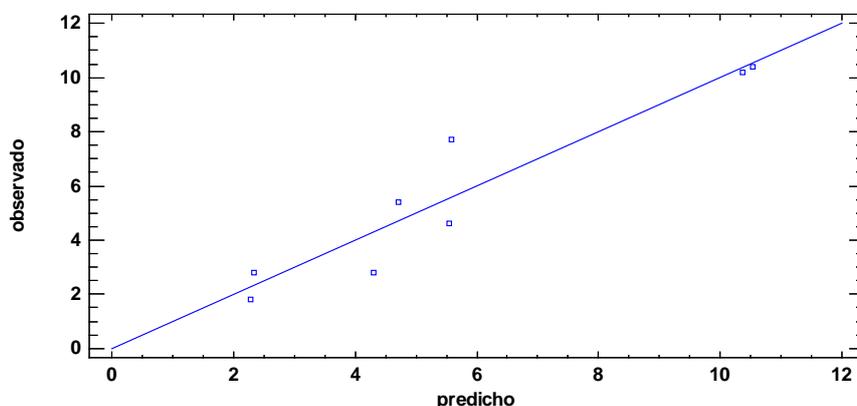


Figura 162. Bondad del ajuste de la correlación de FT con la F_{85} y la IMD.

Ahora bien, el nivel de exposición al riesgo de una carretera para un determinado tipo de usuarios, en este caso los ciclistas, debe establecerse en función no sólo del tráfico de la carretera sino del volumen de ciclistas que la utilizan y el efecto acumulado que sobre todos ellos generan los adelantamientos.

Para determinar este factor, es necesario conocer tanto la composición del tráfico de la carretera en el tramo estudiado como el volumen de ciclistas que por él circula. El problema reside en que no es habitual disponer de datos de aforos de ciclistas en las carreteras procedentes de las administraciones titulares, por lo que deber recurrirse a la realización de aforos específicos o, alternativamente, a la búsqueda de información a través de otras fuentes.

En el caso de los tramos de carretera estudiadas en la presente investigación no se disponen de datos oficiales sobre aforos de ciclistas. Por ello se ha recurrido a la información publicada en la web especializada para corredores y ciclistas <https://www.strava.com>. En ella comparten la información de sus salidas y recorridos. Concretamente, en el caso de los ciclistas los recorridos se enmarcan en tramos denominados segmentos, mostrándose información sobre las longitudes recorridas, perfil longitudinal, tiempos, velocidades, ritmo cardiaco, clasificación respecto a otros ciclistas que lo han recorrido, sexo, edad, peso, etc.

Partiendo de esa información, se ha contabilizado el volumen de ciclistas que han circulado por cada uno de los segmentos coincidentes con los tramos de carretera estudiadas en la presente investigación. Dado que la web es relativamente joven, ésta no aporta información completa de los años en los que se realizaron las pruebas, por lo que se han tomado como referencia los volúmenes de ciclistas correspondientes al primer año completo más cercano disponible, 2015 (Tabla 50).

Tramo	Carretera	Código STRAVA	Ciclistas 2015
Bétera	CV-310	12709069	10.750
Casinos	CV-3505	8511307	303
Cheste	CV-50	4344820	1.843
Náquera	CV-315	4796051	6.284
Pedralba	CV-376	6364571	852
Portaceli	CV-333	13219366	14.531
Torrent	CV-405	3443975	4.711
Algar	N-225	8330408	1.679

Tabla 50. Demanda de ciclistas por tramos de carretera para el año 2015.

Igualmente, se han obtenido las IMD de los tramos de carretera para ese año a partir de los Anuarios de Aforos de las Administraciones titulares. A partir de esos datos y de la frecuencia temporal de las fuerzas determinadas, se ha establecido la peligrosidad de cada carretera (Tabla 51).

Tramo	Carretera	FT (N/min)	IMD	%P	cicl/año	veh/año	veh*cicl /10 ⁸	FT*v*c/10 ⁹
Bétera	CV-310	7,7	4.962	1,38	10.753	1.811.130	194,75	150,0
Casinos	CV-3505	2,8	2.839	4,36	302	1.036.235	3,13	0,9
Cheste	CV-50	5,4	4.797	6,40	1.848	1.750.905	32,36	17,5
Algar	N-225	10,4	5.253	16,33	1.677	1.917.345	32,15	33,5
Náquera	CV-315	1,8	5.480	1,65	5.797	2.000.200	115,95	21,2
Pedralba	CV-376	2,8	3.574	3,55	852	1.304.510	11,11	3,1
Portaceli	CV-333	4,6	3.457	1,80	14.530	1.261.805	183,34	83,6
Torrent	CV-405	10,2	15.110	2,93	4.707	5.515.150	259,60	264,1

Tabla 51. Exposición al riesgo por carreteras.

Se comprueba cómo la consideración del volumen de tráfico permite diferenciar las carreteras que presentan una mayor exposición al riesgo para el conjunto de los ciclistas, mostrándose claramente las carreteras CV-405 (Torrent) y CV-310 (Bétera) como las más peligrosas a priori. Destaca el hecho de que la carretera N-225 (Algar) que es la que se presenta más peligrosa a nivel de exposición individual, no se sitúa entre las primeras al considerar el volumen acumulado de tráfico, consecuencia del menor volumen de tráfico tanto de coches como de ciclistas.

5.8.5 Accidentalidad y exposición al riesgo

Tramos pruebas

Partiendo de la información recogida en la base de datos ARENA de la DGT, se han recopilado los accidentes en los que se han visto envueltos ciclistas en las carreteras en las que se han realizado las salidas con las bicicletas instrumentadas. El periodo considerado ha sido el comprendido entre los años 2007 y 2016, ambos inclusive. Los accidentes detectados se recogen en el Anexo E.

En ese periodo se han detectado 124 accidentes en los que se han visto involucrados ciclistas (Figura 163). De ellos, 33 lo han sido, además, en los tramos en los que se han realizado las pruebas. La práctica totalidad de ellos se han producido de día con calzada seca.

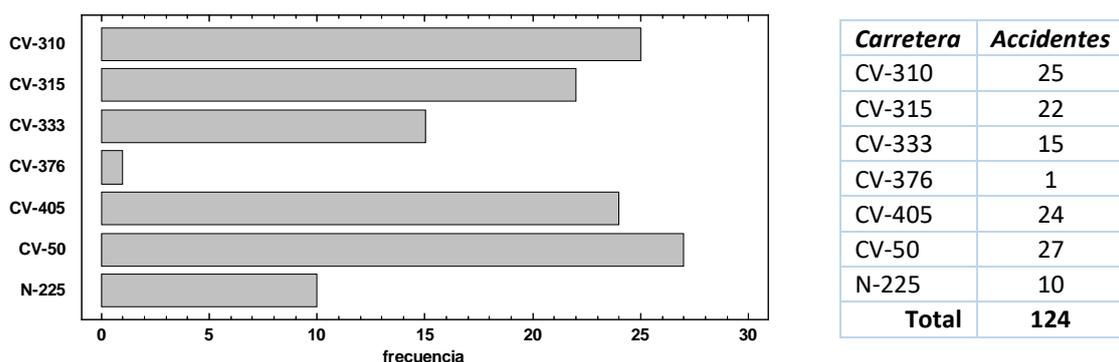


Figura 163. Accidentes registrados en las carreteras estudiadas entre 2007 y 2016

Se han registrado 3 fallecidos, 28 heridos graves y 111 heridos leves (Tabla 52).

CARRETERA	TRAMO	MUERTOS	GRAVES	LEVES
CV-50	Cheste	1	4	34
CV-310	Bétera	1	6	17
CV-315	Náquera	0	6	19
CV-333	Portaceli	0	1	13
CV-376	Pedralba	0	0	1
CV-405	Torrent	0	7	19
N-225	Algar	1	4	8
Total		3	28	111

Tabla 52. Víctimas ciclistas por carreteras

Analizados los accidentes reflejados, se han clasificado éstos en una serie de grupos de forma que permitan dar una idea de los principales problemas de seguridad que los han generado:

- Accidentes fruto de adelantamientos. Los casos detectados han sido originados por el impacto directo del vehículo adelantante sobre las bicicletas durante la maniobra. En varios casos este impacto ha sido con el retrovisor del vehículo (ADELANTAMIENTO).
- Accidentes por incorporaciones o maniobras de giro o cambio de sentido de coches en intersecciones y accesos tipo T. Sólo en algún caso aislado ha sido por incorporación del ciclista. (INTERSECCIÓN).
- Accidentes en glorietas ocasionados tanto por vehículos que acceden a la glorieta e impactan contra ciclistas que circulan por su interior como por vehículos que circulan por la glorieta y al salir de ella arroyan a ciclistas que circulan también por su interior. (GLORIETA)
- Choque frontal de un coche contra un ciclista debido a que uno de los dos invade el carril contrario, normalmente trazando una curva. (FRONTAL).
- Caída del ciclista por choque contra obstáculos tales como piedras, baches, vegetación, vehículos estacionados en el arcén o que circulan a baja velocidad. (OBSTÁCULO).
- Caída del ciclista por pérdida de equilibrio, caso de exceso de velocidad en curvas o glorietas, o por choque contra otros ciclistas circulando en grupo. (CICLISTA).

A continuación (Figura 164) se recogen los tipos de accidentes registrados. Igualmente, en la Tabla 53 se recogen por tipo y carretera.

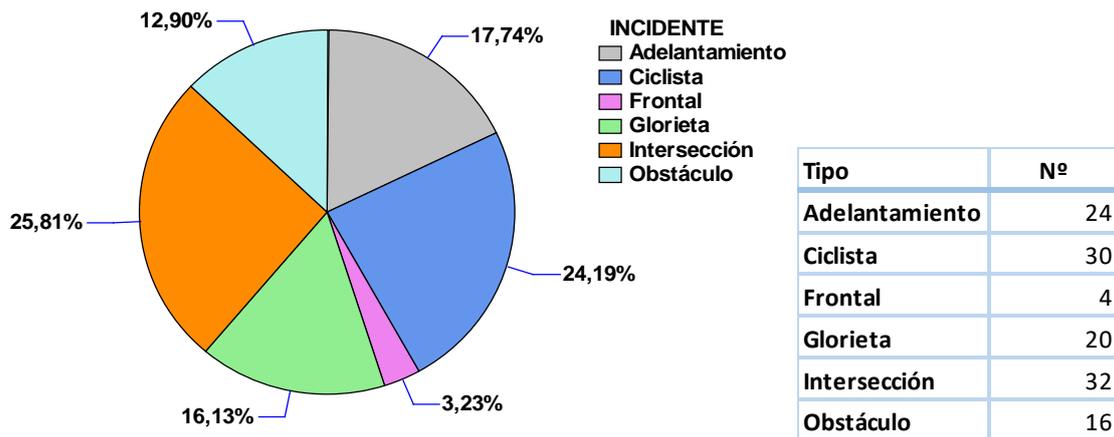


Figura 164. Tipo de accidentes registrados

TIPO ACCIDENTE	CARRETERA							TOTAL
	CV-50	CV-310	CV-315	CV-333	CV-376	CV-405	N-225	
Adelantamiento	6	4	2	2	0	6	2	22
Ciclista	7	6	4	5	1	4	3	30
Frontal	0	2	0	1	0	0	1	4
Glorieta	7	2	5	3	0	2	1	20
Intersección	4	9	6	3	0	9	1	32
Obstáculo	3	2	5	1	0	3	2	16
TOTAL	27	25	22	15	1	24	10	124

Tabla 53. Accidentes por tipo y carretera

Como puede apreciarse, el mayor número de accidentes se ha producido en intersecciones y accesos, un 25,81%. No obstante, si a los accidentes en intersecciones y accesos sumamos los producidos en glorietas, un 16,13%, y que no dejan de ser más que un tipo de intersección, nos encontramos con que casi la mitad de los accidentes, un 41,94%, se han producido en conexiones a nivel.

Sorprende que el siguiente grupo de accidentes, en cuanto a su número, sea el provocado por los propios ciclistas sin intervención de un vehículo a motor, con un 24,19%, superando los accidentes por atropello durante el adelantamiento, con un 17,74%.

Después encontramos los accidentes derivados de choques con obstáculos, un 12,90% y, finalmente, los choques frontales con un 3,23%.

Por tanto, y a la vista de los datos analizados, la mayor parte de los accidentes se producen en intersecciones, glorietas y resto de accesos a nivel, casi la mitad de los detectados y más del doble que los generados durante adelantamientos.

Centrándonos en el caso de los accidentes durante maniobras de adelantamiento, objeto de esta investigación, en la Tabla 54 se recogen los accidentes debidos a adelantamientos por carreteras y su proporción respecto al total. Del total de 22 accidentes provocados por adelantamientos, sólo 2 se han producido en los tramos objeto de estudio.

TRAMO	CARRETERA	TOTALES	AC. CICLISTAS		ADELANTAMIENTO	
Bétera	CV-310	281	25	8,9%	4	1,42%
Casinos	CV-3505	0	0	0,0%	0	0,00%
Cheste	CV-50	811	27	3,3%	6	0,74%
Náquera	CV-315	144	22	15,3%	2	1,39%
Pedralba	CV-376	98	1	1,0%	0	0,00%
Portaceli	CV-333	69	15	21,7%	2	2,90%
Torrent	CV-405	334	24	7,2%	6	1,80%
Algar	N-225	176	10	5,7%	2	1,14%

Tabla 54. Accidentes por adelantamientos respecto al total por carreteras.

Igualmente, en la Tabla 55 se recogen los valores de la F_{85} aplicando el modelo propuesto en los diferentes tramos en los que se han producido los accidentes.

Tramo	Carretera	P.K.	AÑO	IMD	%P	Carril (m)	Arcén (m)	Semiplat (m)	F_{85} (N)
Bétera	CV-310	4,200	2015	14.800	1,76	3,50	2,00	5,50	6,46
	CV-310	6,700	2016	14.800	1,76	3,25	1,00	4,25	8,24
	CV-310	6,800	2009	11.600	8,16	3,25	1,00	4,25	10,36
	CV-310	20,000	2013	2.880	1,67	3,25	1,25	4,50	7,86
Casinos	CV-3505	-	2015	2.839	4,36	3,50	1,60	5,10	7,89
Cheste	CV-50	1,000	2012	14.569	4,80	3,50	1,50	5,00	8,17
	CV-50	3,900	2013	9.469	5,00	3,50	1,50	5,00	8,24
	CV-50	9,700	2015	9.583	8,20	3,50	1,50	5,00	9,30
	CV-50	15,400	2015	9.583	8,20	3,50	1,50	5,00	9,30
	CV-50	48,500	2012	2.240	6,80	3,00	0,25	3,25	11,34
	CV-50	74,400	2008	4.246	10,00	3,50	1,50	5,00	9,89
Náquera	CV-315	4,800	2013	14.256	1,15	3,25	0,50	3,75	8,76
	CV-315	11,800	2016	5.521	4,51	3,50	2,50	6,00	6,65
Pedralba	CV-376	-	2015	3.574	3,55	3,25	0,50	3,75	9,55
Portaceli	CV-333	8,400	2008	2.551	3,00	3,05	1,10	4,15	8,80
	CV-333	12,500	2013	1.927	1,70	3,05	1,10	4,15	8,37
Torrent	CV-405	6,100	2016	15110	2,93	3,50	1,50	5,00	7,56
	CV-405	6,200	2007	18.197	9,34	3,50	1,50	5,00	9,67
	CV-405	10,300	2011	10.949	4,94	3,50	1,50	5,00	8,22
	CV-405	10,500	2011	10.949	4,94	3,50	1,50	5,00	8,22
	CV-405	10,700	2007	12.386	14,90	3,50	1,50	5,00	11,51
	CV-405	14,900	2015	9.945	2,16	3,50	1,50	5,00	7,30
Algar	N-225	12,400	2012	4.865	14,82	3,50	1,50	5,00	11,48
	N-225	50,100	2013	3.307	2,60	3,00	0,25	3,25	9,95

Tabla 55. Estimación de la F_{85} previsible

Aplicando la misma metodología seguida anteriormente, puede establecerse también la exposición al riesgo de cada uno de los tramos o segmentos ciclistas en los que se han producido accidentes por adelantamiento. Para ello, y con el fin de homogeneizar el procedimiento, se han utilizado los valores del tráfico de vehículos durante el año 2015 y la demanda de ciclistas media durante los años 2015 y 2016 de cada uno de ellos (Tabla 56).

Tramo	Carretera	PK	IMD ₂₀₁₅	%P ₂₀₁₅	Ciclistas				
					Segmento	Long (km)	2015	2016	Media 15-16
Bétera	CV-310	4,200	14.800	1,76	12709069	3,22	10.750	20.143	15.447
		6,700	14.800	1,76	12709069	3,22	10.750	20.143	15.447
		6,800	14.800	1,76	12709069	3,22	10.750	20.143	15.447
		20,000	2.837	0,75	868761	6,76	7.523	13.953	10.738
Casinos	CV-3505	-	2.839	4,36	8511307	2,09	303	568	436
Cheste	CV-50	1,000	15.097	4,90	9955765	2,70	5.325	9.732	7.529
		3,900	9.879	5,80	9955765	2,70	5.325	9.732	7.529
		9,700	9.583	8,20	11786761	4,50	3.580	6.246	4.913
		15,400	9.583	8,20	11786761	4,50	3.580	6.246	4.913
		48,500	2.312	6,70	3796977	6,40	4.138	7.011	5.575
		74,400	4.797	6,40	4344820	7,72	1.843	2.283	2.063
Náquera	CV-315	4,800	13.817	1,13	4796051	4,51	6.284	7.040	6.662
		11,800	5.521	4,51	4796051	4,51	6.284	7.040	6.662
Pedralba	CV-376	-	3.574	3,55	6364571	5,79	852	1.090	971
Portaceli	CV-333	8,400	2.115	1,80	13219366	6,28	14.531	26.850	20.691
		12,500	2.115	1,80	13219366	6,28	14.531	26.850	20.691
Torrent	CV-405	6,100	15.110	2,93	3443975	5,63	4.711	9.005	6.858
		6,200	15.110	2,93	3443975	5,63	4.711	9.005	6.858
		10,300	10.918	3,10	3443975	5,63	4.711	9.005	6.858
		10,500	10.918	3,10	3443975	5,63	4.711	9.005	6.858
		10,700	10.918	3,10	3443975	5,63	4.711	9.005	6.858
		14,900	9.945	2,16	13002096	2,70	4.719	8.928	6.824
Algar	N-225	12,400	5.253	16,30	10543893	8,30	1.885	3.616	2.751
		50,100	3.586	3,4	12562976	1,90	863	2.314	1.589

Tabla 56. Demanda de tráfico de vehículos y ciclistas en los tramos donde se han realizado las pruebas.

En la Tabla 57 se recogen los valores de la exposición al riesgo previsible, $FT \cdot v \cdot c / 10^9$ (N/min $\cdot v \cdot c / 10^9$), según la metodología propuesta para cada P.K. de cada carretera coincidente con un punto en el que se han producido un accidente por adelantamiento.

Tramo	Carretera	PK	FT (N/min)	IMD ₂₀₁₅	veh/año	cicl/año ₁₅₋₁₆	$v \cdot c / 10^9$	$FT \cdot v \cdot c / 10^9$
Bétera	CV-310	4,200	7,77	14.800	5.402.000	15.447	83,44	648,48
	CV-310	6,700	10,06	14.800	5.402.000	15.447	83,44	839,41
	CV-310	6,800	10,49	14.800	5.402.000	15.447	83,44	875,40
	CV-310	20,000	1,10	2.837	1.035.505	10.738	11,12	12,24
Casinos	CV-3505	-	1,11	2.839	1.036.235	436	0,45	0,50
Cheste	CV-50	1,000	9,81	15.097	5.510.405	7.529	41,49	406,86
	CV-50	3,900	6,27	9.879	3.605.835	7.529	27,15	170,23
	CV-50	9,700	7,70	9.583	3.497.795	4.913	17,18	132,37
	CV-50	15,400	7,70	9.583	3.497.795	4.913	17,18	132,37
	CV-50	48,500	5,10	2.312	843.880	5.575	4,70	24,00
	CV-50	74,400	4,67	4.797	1.750.905	2.063	3,61	16,88
Náquera	CV-315	4,800	10,33	13.817	5.043.205	6.662	33,60	347,09
	CV-315	11,800	1,43	5.521	2.015.165	6.662	13,43	19,19
Pedralba	CV-376	-	3,76	3.574	1.304.510	971	1,27	4,76
Portaceli	CV-333	8,400	2,07	2.115	771.975	20.691	15,97	33,06
	CV-333	12,500	1,08	2.115	771.975	20.691	15,97	17,21
Torrent	CV-405	6,100	9,40	15.110	5.515.150	6.858	37,82	355,57
	CV-405	6,200	14,30	15.110	5.515.150	6.858	37,82	540,88
	CV-405	10,300	7,30	10.918	3.985.070	6.858	27,33	199,39
	CV-405	10,500	7,30	10.918	3.985.070	6.858	27,33	199,39
	CV-405	10,700	12,52	10.918	3.985.070	6.858	27,33	342,25
	CV-405	14,900	5,41	9.945	3.629.925	6.824	24,77	133,97
Algar	N-225	12,400	7,15	5.253	1.917.345	2.751	5,27	37,71
	N-225	50,100	4,08	3.586	1.308.890	1.589	2,08	8,50

Tabla 57. Exposición al riesgo en los tramos donde se han realizado las pruebas.

A partir de estos datos de exposición al riesgo es posible buscar una correlación entre el valor de la exposición al riesgo y el número de accidentes causados por los adelantamientos tanto por segmentos ciclistas como por carreteras. Para ello se ha calculado, por un lado, la exposición media ponderada para cada segmento ciclista en cada carretera (Exp. Segto.) y, por otro, la exposición media ponderada de cada carretera (Exp. Carr.) en función del número de vehículos y ciclistas por segmento de la carretera. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 58.

Tramo	Carretera	PK	FT*v*c/10^9	Exp. Segto.	Acc. Segto.	Exp. Carr.	Acc. Carr.
Bétera	CV-310	4,200	648,48	787,76	3	754,78	4
	CV-310	6,700	839,41				
	CV-310	6,800	875,40				
	CV-310	20,000	12,24	12,24	1		
Casinos	CV-3505		0,50	0,50	0	0,50	0
Cheste	CV-50	1,000	406,86	313,26	2	235,57	6
	CV-50	3,900	170,23				
	CV-50	9,700	132,37	132,37	2		
	CV-50	15,400	132,37				
	CV-50	48,500	24,00	24,00	1		
	CV-50	74,400	16,88	16,88	1		
Náquera	CV-315	4,800	347,09	253,48	2	253,48	2
	CV-315	11,800	19,19				
Pedralba	CV-376		4,76	4,76	0	4,76	0
Portaceli	CV-333	8,400	33,06	25,13	2	25,13	2
	CV-333	12,500	17,21				
Torrent	CV-405	6,100	355,57	343,57	5	315,10	6
	CV-405	6,200	540,88				
	CV-405	10,300	199,39				
	CV-405	10,500	199,39				
	CV-405	10,700	342,25				
	CV-405	14,900	133,97	133,97	1		
Algar	N-225	12,400	37,71	37,71	1	29,45	2
	N-225	50,100	8,50	8,50	1		

Tabla 58. Exposición al riesgo y número de accidentes en los segmentos y carreteras en las que se han realizado las pruebas.

Como puede apreciarse, las carreteras CV-3505 (Casinos) y CV-376 (Pedralba) no presentan accidentes por adelantamiento a ciclistas en los años analizados, lo que es coherente con el hecho de que ambas son las que menor grado de exposición al riesgo presentan. Por su parte, las carreteras CV-310 (Bétera), CV-405 (Torrent) y CV-50 (Cheste) son las que mayor número de accidentes presentan, coincidiendo con valores de exposición más altos.

Esta relación entre número de accidentes por adelantamiento y exposición al riesgo se constata también a nivel estadístico dado que un análisis de regresión lineal entre ambos parámetros pone de manifiesto la existencia de una razonable correlación lineal entre ellos (Figura 165). Concretamente, el coeficiente de correlación entre el número de accidentes por segmentos y la exposición al riesgo es del 67,5%, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables y existiendo una relación estadísticamente significativa entre ellas con un nivel de confianza del 95 %.

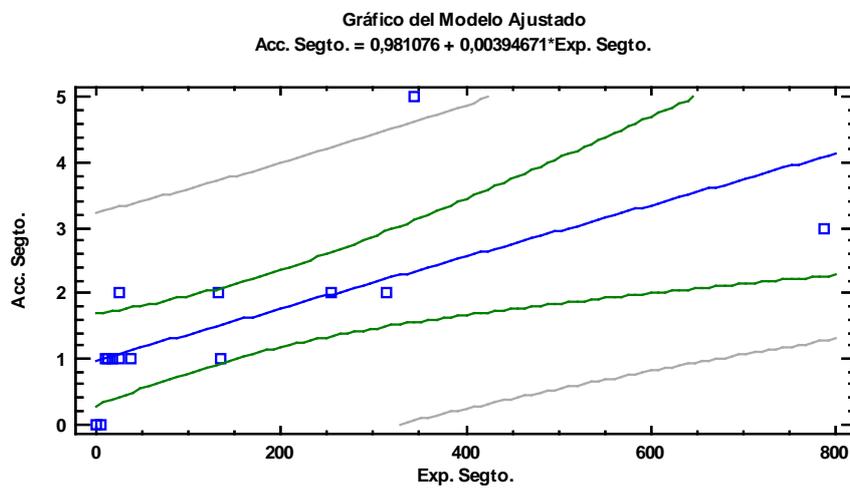
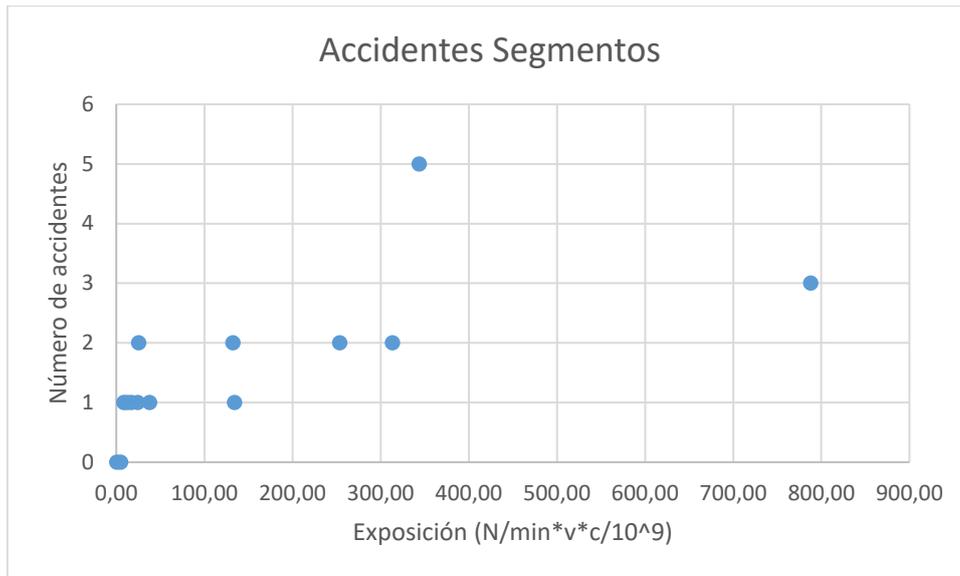


Figura 165. Correlación lineal entre exposición al riesgo y accidentes en los segmentos de las carreteras donde se han realizado las pruebas.

Esta correlación es algo menor, 58,2% tomando como referencia la media ponderada de la exposición por carretera (Figura 166), no siendo significativa con un nivel de confianza del 95 %.

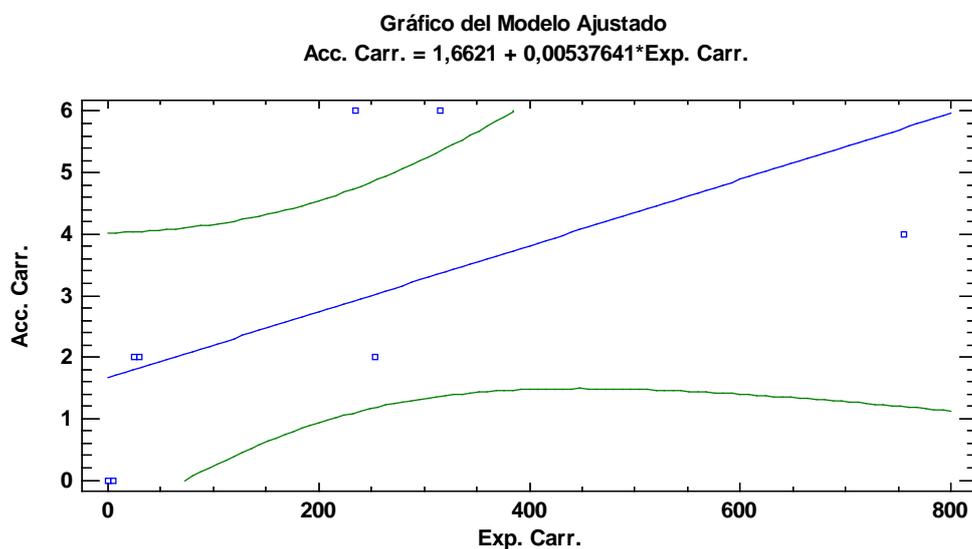
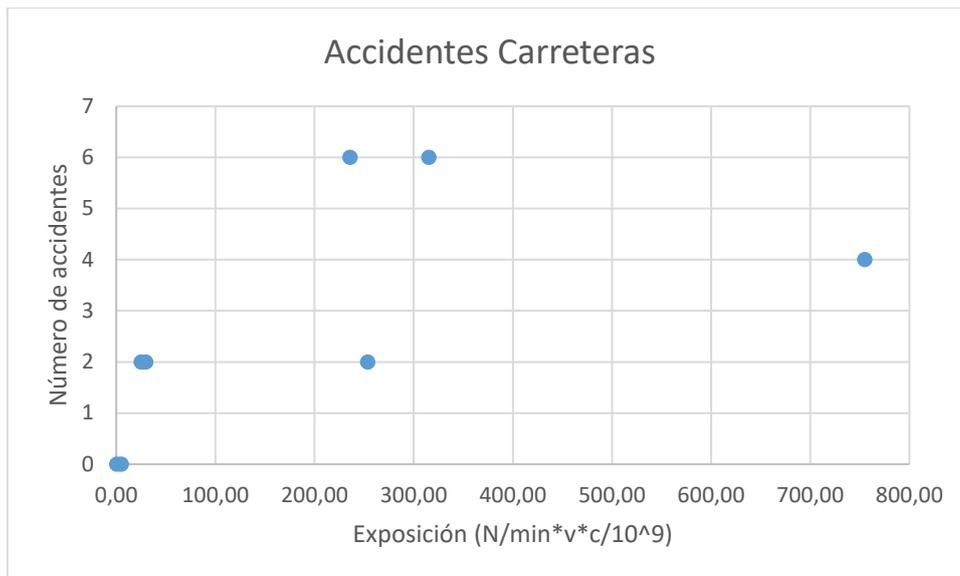


Figura 166. Correlación lineal entre exposición al riesgo y accidentes en las carreteras donde se han realizado las pruebas.

Tramos de contraste

Con el fin de contrastar esta correlación entre la exposición al riesgo y el número de accidentes por adelantamiento a ciclistas, se ha procedido a analizar también los accidentes registrados en una serie de carreteras convencionales adicionales, todas ellas también en la Comunidad Valenciana (Anexo D).

Concretamente, se ha recopilado la información de accidentes entre los años 2007 y 2016 (Anexo E) de los siguientes tramos de carreteras:

- CV-25: Liria-Olocau-Segorbe
- CV-70: Alcoy-Benidorm
- CV-300: El Puig-Meliana
- CV-500: El Saler

- CV-700: Bocairent-Pego
- CV-800: San Juan-Alcoy
- N-340: Sagunto-Nules
- CV-320: Pto. Sagunto-Faura
- CV-415: Picassent-Turis
- CV-425: Buñol-Macastre
- CV-435: Dos Aguas

En la Tabla 59 se recogen, de manera resumida, los accidentes totales registrados en el periodo 2007-2016 así como los sufridos por ciclistas clasificados con el mismo criterio seguido anteriormente.

	CARRETERA											TOTALES
	CV-25	CV-70	CV-300	CV-500	CV-700	CV-800	N-340	CV-320	CV-415	CV-425	CV-435	
Acc. Totales	116	782	160	454	264	401	208	55	344	162	89	3.035
Acc. Bicicletas	18	29	21	49	19	11	28	9	12	2	3	201
Adelantamiento	1	2	4	6	1	1	5	2	5	1	1	29
Ciclista	9	13	0	17	10	4	19	1	2	1	2	78
Frontal	2	1	0	1	1	1	0	4	2	0	0	12
Glorieta	5	4	12	7	2	0	3	0	0	0	0	33
Intersección	1	8	4	13	3	2	0	0	2	0	0	33
Obstáculo	0	1	1	5	2	3	1	2	1	0	0	16

Tabla 59. Accidentes en los tramos de contraste.

Tal y como se refleja en la Figura 167, la pauta de accidentabilidad es muy similar a la detectada en las carreteras en los que se han realizado las salidas de las bicicletas instrumentadas.

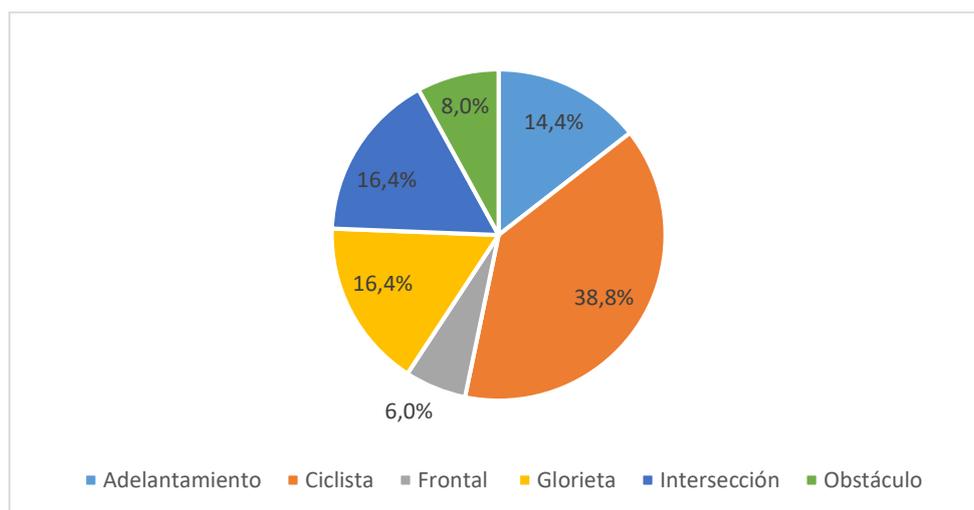


Figura 167. Tipos de accidentes de ciclistas en los tramos de contraste.

En la Tabla 60 se recogen los accidentes ocasionados por adelantamiento a ciclistas registrados en cada carretera junto con su localización, fecha, tráfico en ese año, sección transversal y valor de la F_{85} en ese punto previsible aplicando la metodología establecida. Señalar que algunos de

los accidentes, concretamente en las carreteras CV-70 y CV-300, se han producido en tramos con sección multicarril. Se han incorporado al análisis tomando como referencia para la determinación de la semiplataforma el carril izquierdo y el arcén exterior.

Tramo	Carretera	PK	AÑO	IMD	%P	Carril (m)	Arcén (m)	Semiplat (m)	F ₈₅ (N)
Liria-Olocau-Segorbe	CV-25	13,9	2011	896	2	2,5	0	2,5	10,83
Alcoy-Benidorm	CV-70	43,7	2013	25.222	2,7	3,5	2,5	6	6,05
		47,5	2016	24.448	2,4	3,5	2,5	6	5,95
El Puig-Meliana	CV-300	3,8	2016	14.081	2,4	3,5	1,0	4,5	8,10
		7,2	2013	12.564	3	3,5	2,5	6	6,15
		7,4	2010	14.061	3	3,5	2,5	6	6,15
		7,6	2010	14.061	3	3,5	2,5	6	6,15
El Saler	CV-500	8,5	2015	16.310	2,8	3,5	1,5	5	7,51
		8,9	2010	19.012	1	3,5	1,5	5	6,92
		10,3	2009	13.007	2	3,5	1,5	5	7,25
		14,5	2008	11.773	3	3,5	1,5	5	7,58
		19,3	2010	9.924	2	3,5	1,5	5	7,25
24,5	2007	9.819	3	3,5	1,5	5	7,58		
Bocairent-Pego	CV-700	66,5	2012	5.048	2,6	3,0	1,0	4	8,88
San Juan-Alcoy	CV-800	17,3	2009	3.122	4	3,5	1,5	5	7,91
Sagunto-Nules	N-340	941	2016	5.725	10	3,5	2,5	6	8,46
		944,4	2008	8.161	7,95	3,5	2,5	6	7,78
		949,5	2016	3.087	11,5	3,5	2,5	6	8,96
		952,8	2011	6.641	12,5	3,5	2,5	6	9,29
		953,5	2010	6.598	13,3	3,5	2,5	6	9,55
Pto. Sagunto-Faura	CV-320	4,9	2011	8.201	4,49	3,5	2,5	6	6,64
		9,4	2016	8.733	1,28	3,5	1,5	5	7,01
Picassent-Turis	CV-415	4,5	2013	4.883	2,23	3,5	0	3,5	9,47
		6,6	2016	5.136	1,7	3,5	0	3,5	9,30
		9,8	2012	4.720	1,48	3,5	0	3,5	9,22
		10,7	2013	4.601	1,67	3,5	0	3,5	9,29
		20,5	2014	2.299	1,75	3,5	0	3,5	9,31
Buñol-Macastre	CV-425	4,3	2015	6.676	3,88	3,25	0	3,25	10,37
Dos Aguas	CV-435	18	2007	457	4,19	3,25	0	3,25	10,48

Tabla 60. Características de los tramos de contraste y valor previsible de F₈₅.

Siguiendo la misma metodología, y partiendo de la información referente tanto al tráfico de vehículos en 2015 como de ciclistas en 2015 y 2016 para cada segmento en el que se han producido accidentes (Tabla 61), se ha determinado la exposición al riesgo previsible (Tabla 62).

Tramo	Carretera	P.K.	IMD 2015	%P ₂₀₁₅	Segmento	Long (km)	2015	2016	Media 15-16
Lliria-Olocau-Segorbe	CV-25	13,9	573	2	3768494	5,4	6.370	11.626	8.998
Alcoy-Benidorm	CV-70	43,7	27.191	3,7	5866921	1,6	1.673	2.780	2.227
		47,5	24.448	2,4	5866921	1,6	1.673	2.780	2.227
El Puig-Meliana	CV-300	3,8	14.081	2,4	7533437	2,6	5.471	9.820	7.646
		7,2	12.914	3,6	7533437	2,6	5.471	9.820	7.646
		7,4	12.914	3,6	7533437	2,6	5.471	9.820	7.646
		7,6	12.914	3,6	7533437	2,6	5.471	9.820	7.646
El Saler	CV-500	8,5	16.310	2,8	3464068	21,5	7.202	13.261	10.232
		8,9	16.310	2,8	3464068	21,5	7.202	13.261	10.232
		10,3	16.310	2,8	3464068	21,5	7.202	13.261	10.232
		14,5	10.480	2,8	3464068	21,5	7.202	13.261	10.232
		19,3	8.378	2,5	3464068	21,5	7.202	13.261	10.232
		24,5	7.463	2,1	11491807	3,0	1.696	3.201	2.449
Bocairent-Pego	CV-700	66,5	5.615	3,3	6841910	8,7	1.062	1.929	1.496
San Juan-Alcoy	CV-800	17,3	2.685	6,4	4801097	4,7	1.520	2.363	1.942
Sagunto-Nules	N-340	941	5.725	10	3634658	5,8	9.095	16.627	12.861
		944,4	5.725	10	3634658	5,8	9.095	16.627	12.861
		949,5	3.087	11,5	6914984	5,7	6.634	12.539	9.587
		952,8	6.129	11,6	6914984	5,7	6.634	12.539	9.587
		953,5	6.129	11,6	6914984	5,7	6.634	12.539	9.587
Pto. Sagunto-Faura	CV-320	4,9	4.991	1,27	7655863	5,0	1.735	2.966	2.351
		9,4	8.733	1,28	13601248	0,6	3.318	5.421	4.370
Picassent-Turis	CV-415	4,5	5.136	1,7	6601384	1,5	1.986	2.921	2.454
		6,6	5.136	1,7	13593252	1,9	2.676	4.129	3.403
		9,8	4.515	1,66	13593241	2,2	2.516	3.971	3.244
		10,7	3.894	1,62	13593241	2,2	2.516	3.971	3.244
		20,5	2.009	1,83	6868249	3,2	1.906	3.209	2.558
Buñol-Macastre	CV-425	4,3	6.676	3,88	9494740	1,7	1.356	2.800	2.078
Dos Aguas	CV-435	18	277	2,15	5607364	3,7	2.245	4.379	3.312

Tabla 61. Demanda de tráfico de vehículos y ciclistas para los tramos de contraste.

Tramo	Carretera	PK	FT (N/min)	IMD ₂₀₁₅	veh/año	Cicl/año ₁₅₋₁₆	v*c/10 ⁹	FT*v*c/10 ⁹
Lliria-Olocau-Segorbe	CV-25	13,9	3,49	573	209.145	8.998	1,88	6,57
Alcoy-Benidorm	CV-70	43,7	14,65	27.191	9.924.715	2.227	22,10	323,86
		47,5	13,98	24.448	8.923.520	2.227	19,87	277,75
El Puig-Meliana	CV-300	3,8	9,36	14.081	5.139.565	7.646	39,30	367,89
		7,2	5,79	12.914	4.713.610	7.646	36,04	208,76
		7,4	6,86	12.914	4.713.610	7.646	36,04	247,07
	CV-300	7,6	6,86	12.914	4.713.610	7.646	36,04	247,07
El Saler	CV-500	8,5	10,20	16.310	5.953.150	10.232	60,91	621,19
		8,9	11,36	16.310	5.953.150	10.232	60,91	691,73
		10,3	7,51	16.310	5.953.150	10.232	60,91	457,76
		14,5	7,06	10.480	3.825.200	10.232	39,14	276,37
		19,3	5,33	8.378	3.057.970	10.232	31,29	166,65
		24,5	5,67	7.463	2.723.995	2.449	6,67	37,85
Bocairent-Pego	CV-700	66,5	3,95	5.615	2.049.475	1.496	3,07	12,10
San Juan-Alcoy	CV-800	17,3	1,34	2.685	980.025	1.942	1,90	2,55
Sagunto-Nules	N-340	941	3,89	5.725	2.089.625	12.861	26,87	104,64
		944,4	4,76	5.725	2.089.625	12.861	26,87	127,85
		949,5	2,65	3.087	1.126.755	9.587	10,80	28,67
		952,8	5,60	6.129	2.237.085	9.587	21,45	120,10
		953,5	5,91	6.129	2.237.085	9.587	21,45	126,69
Pto. Sagunto-Faura	CV-320	4,9	3,32	4.991	1.821.715	2.351	4,28	14,24
		9,4	4,18	8.733	3.187.545	4.370	13,93	58,17
Picassent-Turis	CV-415	4,5	4,59	5.136	1.874.640	2.454	4,60	21,11
		6,6	4,55	5.136	1.874.640	3.403	6,38	29,00
		9,8	4,16	4.515	1.647.975	3.244	5,35	22,22
		10,7	4,15	3.894	1.421.310	3.244	4,61	19,15
		20,5	2,55	2.009	733.285	2.558	1,88	4,79
Buñol-Macastre	CV-425	4,3	7,02	6.676	2.436.740	2.078	5,06	35,53
Dos Aguas	CV-435	18	2,73	277	101.105	3.312	0,33	0,92

Tabla 62. Exposición al riesgo para los tramos de contraste.

Finalmente, se han establecido las exposiciones medias ponderadas para los segmentos y carreteras analizadas junto con los accidentes por adelantamiento registrados (Tabla 63).

Tramo	Carretera	PK	FT*v*c/10 ⁹	Exp. Segto.	Acc. Segto.	Exp. Carr.	Acc. Carr.
Lliria-Olocau-Segorbe	CV-25	13,9	6,57	6,57	1	6,57	1
Alcoy-Benidorm	CV-70	43,7	323,86	302,03	2	302,03	2
		47,5	277,75				
El Puig-Meliana	CV-300	3,8	367,89	269,71	4	269,71	4
		7,2	208,76				
		7,4	247,07				
		7,6	247,07				
El Saler	CV-500	8,5	621,19	489,35	5	477,76	6
		8,9	691,73				
		10,3	457,76				
		14,5	276,37				
		19,3	166,65	37,85	1		
		24,5	37,85	37,85	1		
Bocairent-Pego	CV-700	66,5	12,10	12,10	1	12,10	1
San Juan-Alcoy	CV-800	17,3	2,55	2,55	1	2,55	1
Sagunto-Nules	N-340	941	104,64	116,24	2	110,29	5
		944,4	127,85				
		949,5	28,67	104,34	3		
		952,8	120,10				
		953,5	126,69				
Pto. Sagunto-Faura	CV-320	4,9	14,24	14,24	1	47,84	2
		9,4	58,17	58,17	1		
Picassent-Turis	CV-415	4,5	21,11	21,11	1	21,84	5
		6,6	29,00	29,00	1		
		9,8	22,22	20,80	2		
		10,7	19,15				
		20,5	4,79	4,79	1		
Buñol-Macastre	CV-425	4,3	35,53	35,53	1	35,53	1
Dos Aguas	CV-435	18	0,92	0,92	1	0,92	1

Tabla 63. Exposición al riesgo y accidentes registrados en los segmentos y carreteras de contraste.

Al igual que en el caso de los tramos donde se realizaron las pruebas, en estos nuevos tramos de contraste se constata también la existencia de una razonable correlación lineal entre la exposición al riesgo y el número de accidentes detectados en ellos (Figura 168). Concretamente, el coeficiente de correlación entre el número de accidentes por segmentos y la exposición al riesgo es del 88,1%, indicando una relación alta entre las variables y existiendo una relación estadísticamente significativa entre ellas con un nivel de confianza del 95 %.

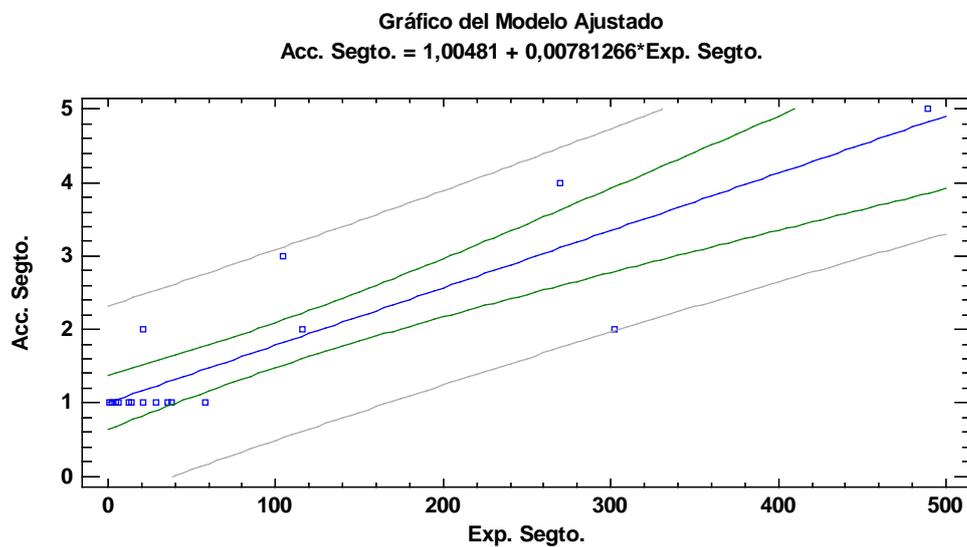
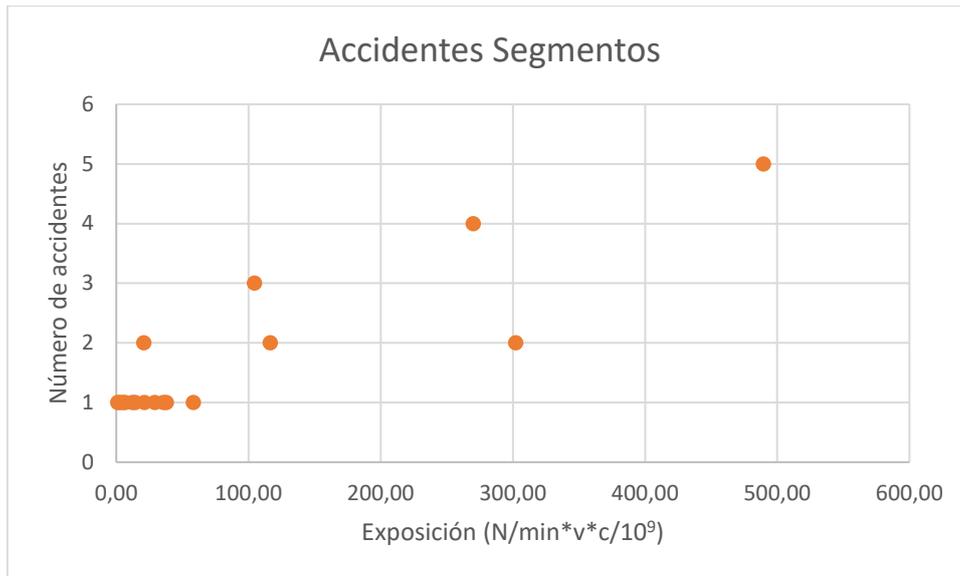


Figura 168. Correlación lineal entre exposición al riesgo y accidentes en los segmentos de las carreteras de contraste.

Esta correlación es menor, 62,5%, tomando como referencia la exposición media ponderada por carretera (Figura 169), aunque en este caso sí que se presenta como significativa con un nivel de confianza del 95 %.

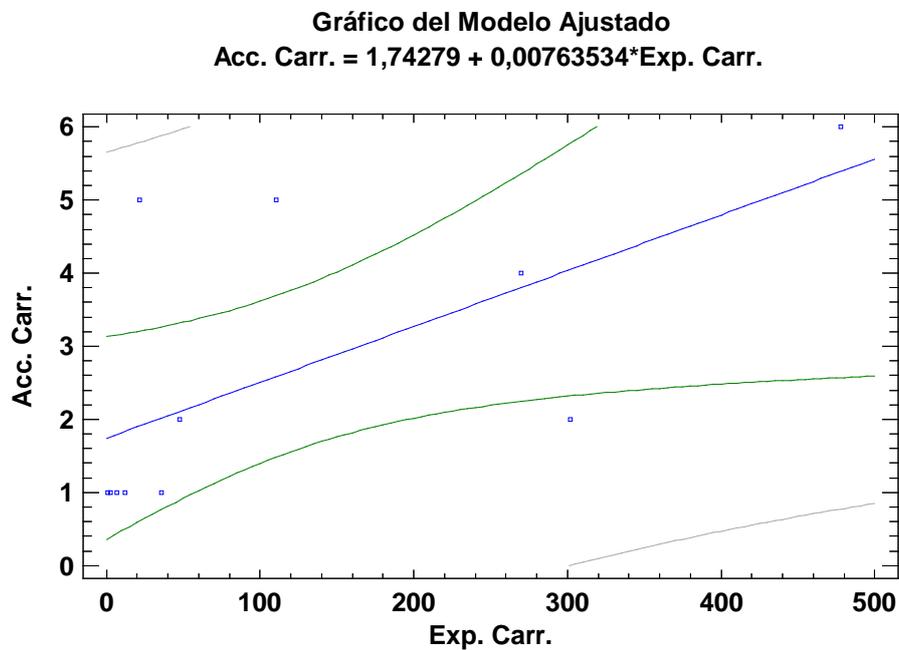
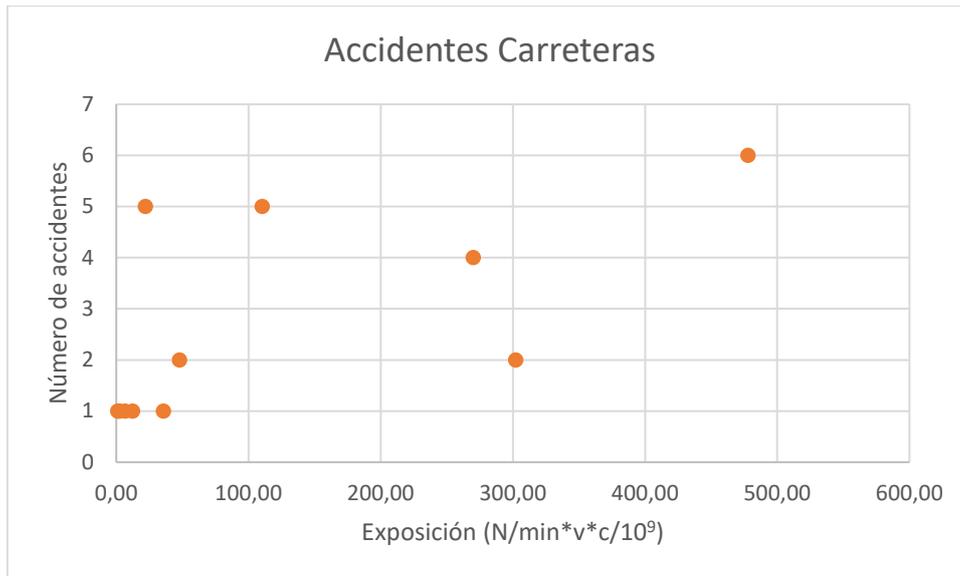


Figura 169. Correlación lineal entre exposición al riesgo y accidentes en las carreteras de contraste.

Análisis conjunto

Finalmente, y como cierre de este análisis sobre relación entre la accidentalidad registrada y la exposición al riesgo previsible según el modelo propuesto, cabe analizar de forma conjunta los datos tanto de las carreteras correspondientes a las salidas realizadas como la adicionalmente estudiadas como contraste.

El análisis conjunto de los segmentos ciclistas pone de manifiesto, como era previsible, la existencia de una razonable correlación lineal entre la exposición al riesgo y el número de accidentes detectados ellos (Figura 170). Concretamente, el coeficiente de correlación entre el número de accidentes en el total de los segmentos y la exposición al riesgo es del 73,4%,

indicando una relación relativamente alta entre las variables y existiendo una relación estadísticamente significativa entre ellas con un nivel de confianza del 95 %.

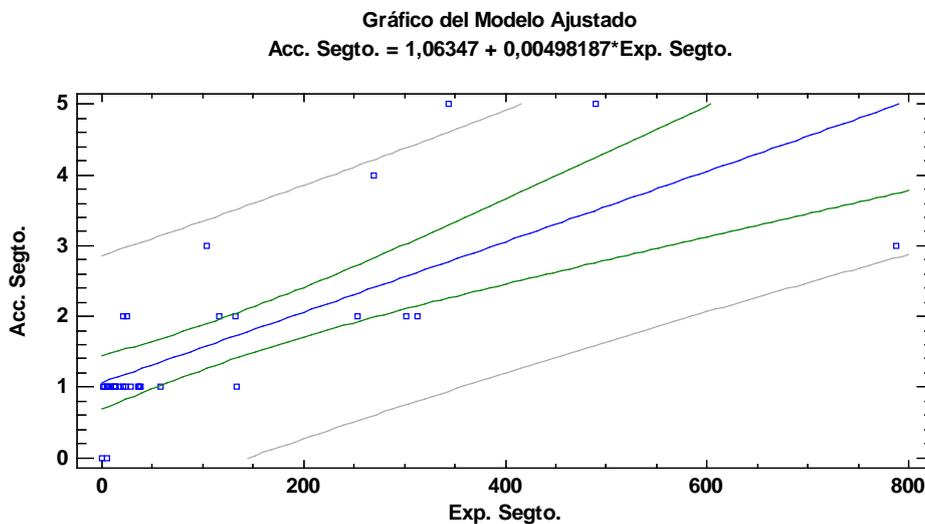
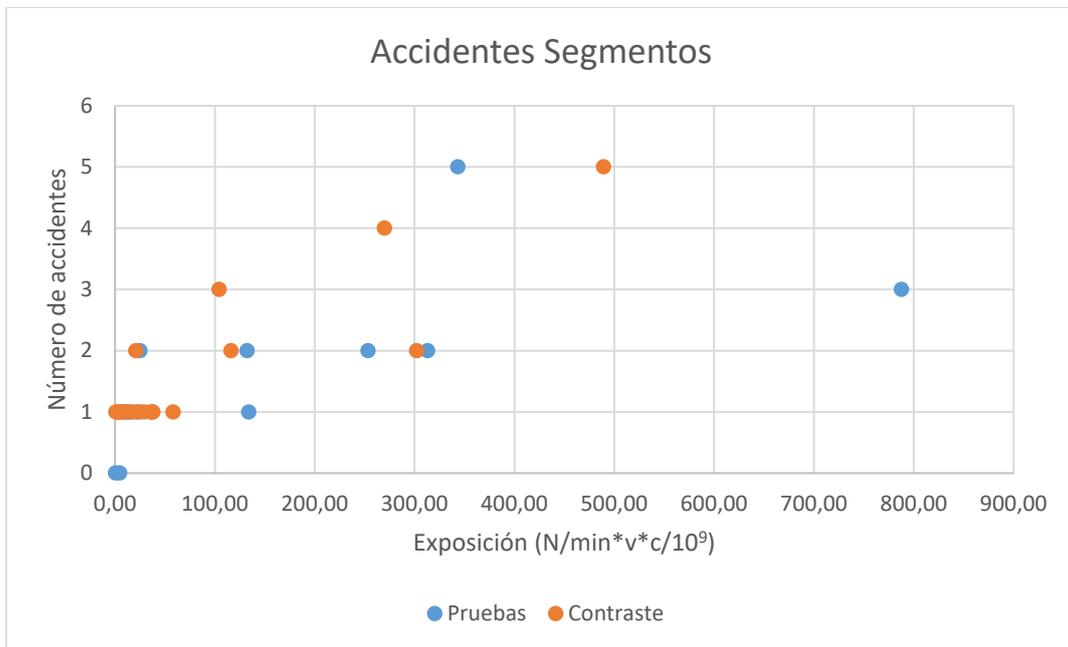


Figura 170. Correlación lineal entre exposición y accidentes para el conjunto de segmentos.

Ahora bien, si se observan en su conjunto la totalidad de los segmentos, puede observarse la existencia de un dato singular, con niveles singularmente altos de la exposición respecto al resto, correspondientes a dos accidentes registrados muy próximos uno del otro en la carretera CV-310, correspondiéndose con un tramo concreto donde la carretera se estrecha sensiblemente respecto al resto del itinerario coincidiendo con la rampa de un paso superior sobre el FFCC.

Si se excluye este segmento del análisis conjunto, se constata que la correlación entre número de accidentes y exposición sube hasta el 82,97%, poniendo de manifiesto un importante nivel de correlación entre ambos parámetros. Igualmente, el estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica el 68,84% de la variabilidad de los accidentes.

$$N^{\circ} \text{ Acc. Segto.} = 0,863047 + 0,00780707 * \text{Exp. Segto.}$$

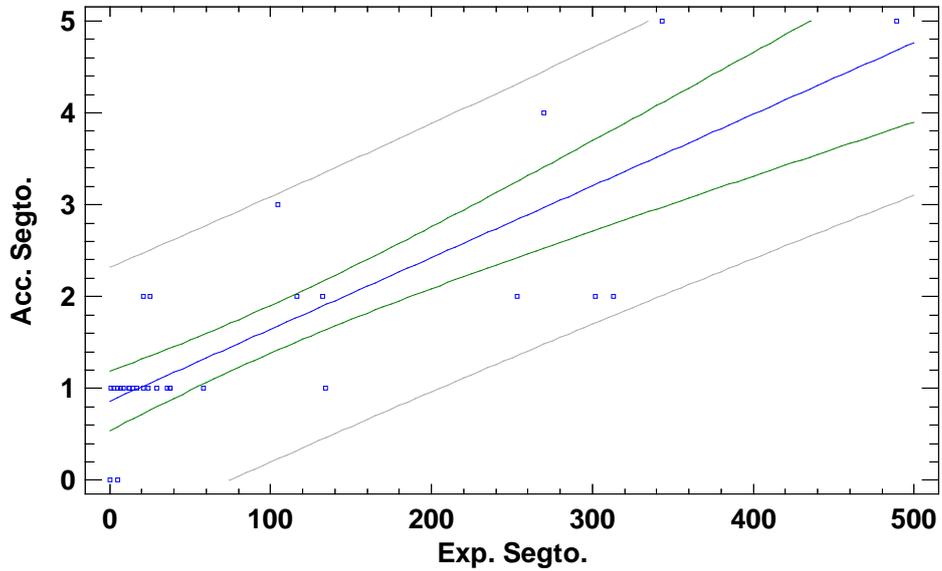


Figura 171. Correlación lineal entre exposición y accidentes para el conjunto de segmentos (Exposición<600).

Por otro lado, la utilización de un mayor número de datos permite buscar otras posibles alternativas de ajuste estadístico. De esta forma, y excluyendo el dato singular citado, es posible lograr un ajuste con un ligero mayor grado de correlación (Figura 172) del tipo cuadrado doble:

$$N^{\circ} \text{ Acc. Segto.} = \sqrt{1,39166 + 0,000103614 * \text{Exp. Segto.}^2}$$

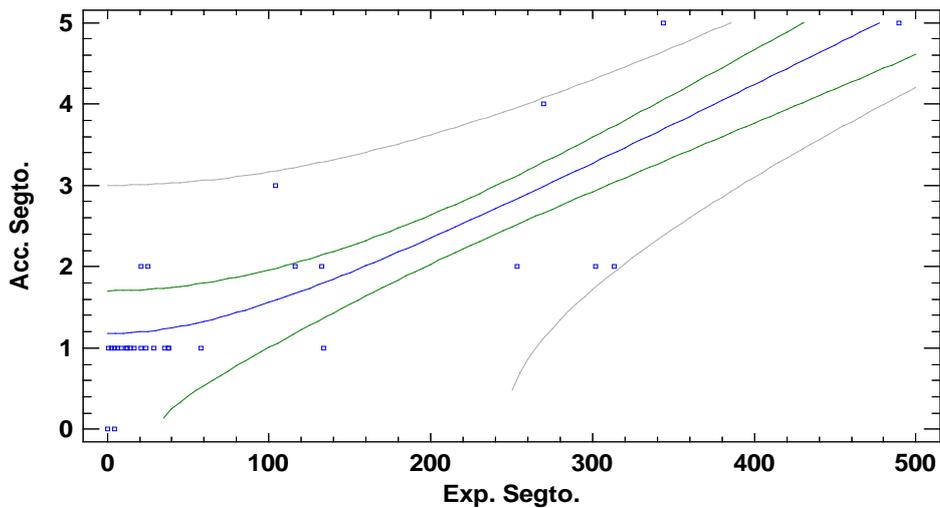


Figura 172. Ajuste estadístico alternativo para el conjunto de segmentos, correlación tipo cuadrado doble (Exposición<600).

El coeficiente de correlación es igual a 0,83672, indicando una relación también fuerte entre las variables, y existe una relación estadísticamente significativa entre ambas variables con un nivel de confianza del 95%. Igualmente, el estadístico R² indica que el modelo ajustado explica 70,01% de la variabilidad de los accidentes.

En el caso de los accidentes considerando el total de las carreteras la correlación es menor, 58,66%, tomando como referencia la exposición media ponderada por carretera (Figura 173), presentándose como significativa con un nivel de confianza del 95 %. Igualmente, el estadístico R² indica que el modelo ajustado explica 34,41% de la variabilidad en los accidentes.

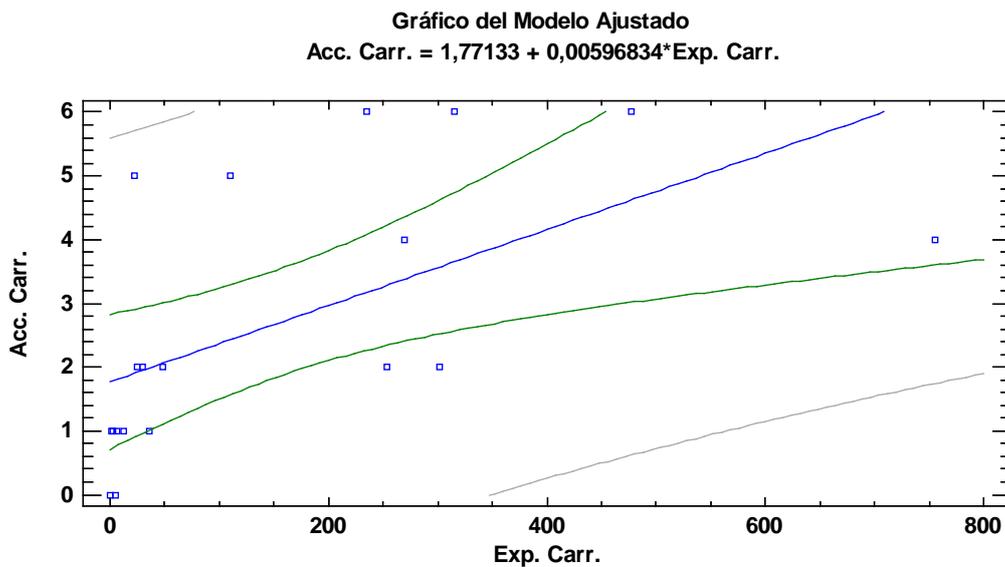
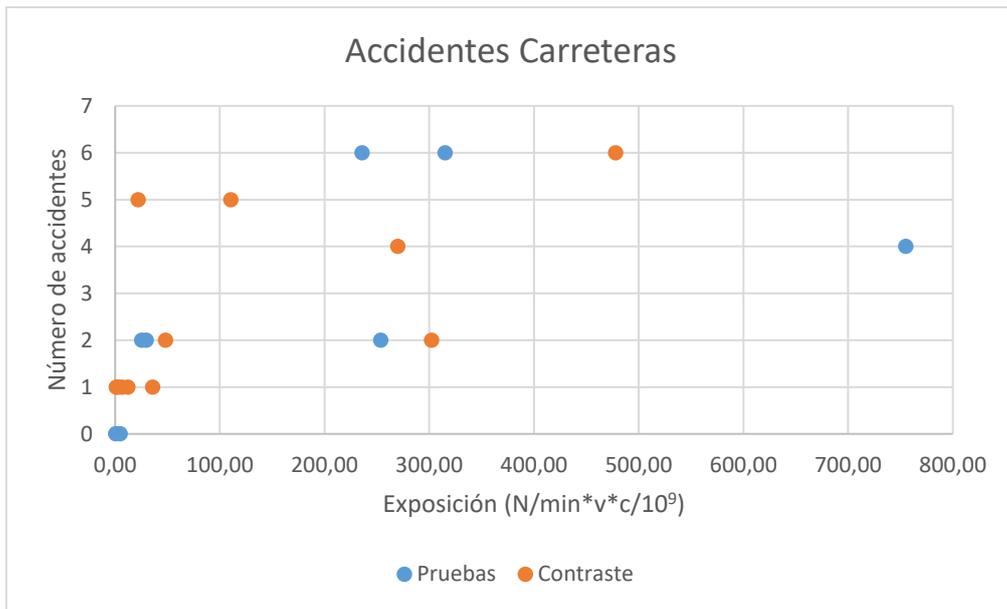


Figura 173. Correlación lineal entre exposición y accidentes para el conjunto de carreteras.

Igualmente, y eliminando el segmento singular de la carretera afectada, la correlación se incrementa notablemente a nivel de carreteras (Figura 174), subiendo hasta el 69,75%, presentándose también como significativa con un nivel de confianza del 95 %. Por su parte, el estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica 48,66% de la variabilidad en los accidentes.

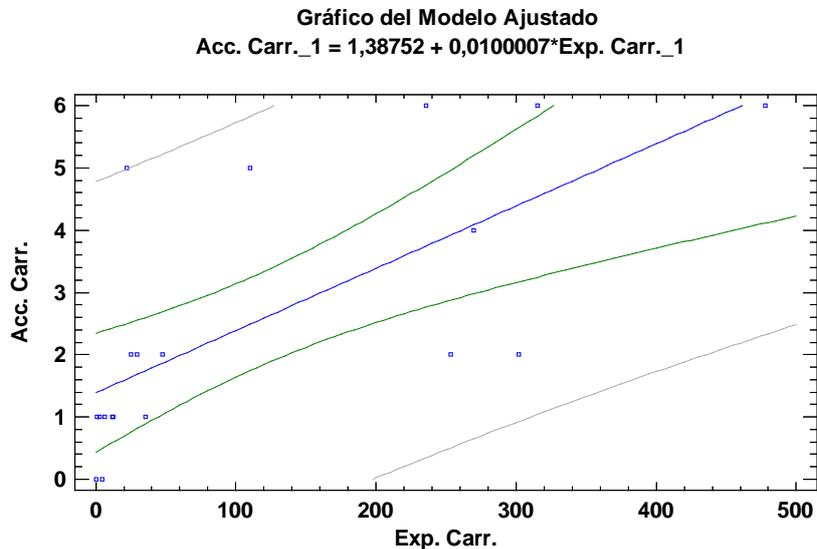


Figura 174. Correlación lineal entre exposición y accidentes para el conjunto de carreteras (Exposición < 600).

Al igual que en el caso del análisis de los segmentos, el mayor número de datos disponibles permite buscar otros ajustes estadísticos que puedan reflejar un mejor ajuste (Figura 175). En este caso, el mejor ajuste se ha obtenido, para un ajuste tipo raíz cuadrada de X, con la formulación:

$$N^{\circ} Acc. Carr. = (0,491446 + 0,269755 * \ln(Exp. Carr.))^2$$

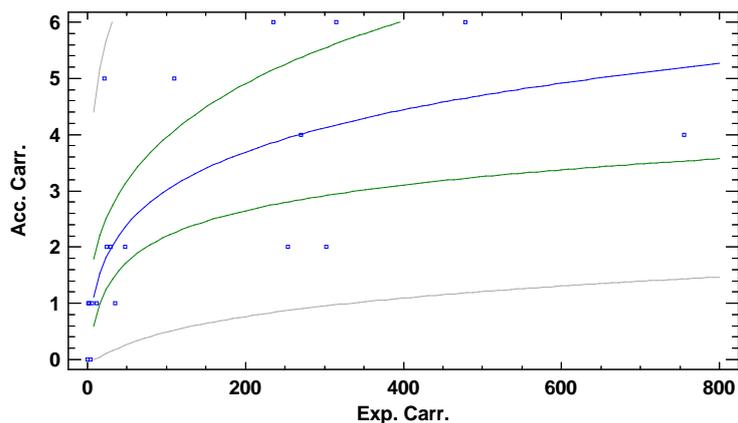


Figura 175. Ajuste estadístico alternativo conjunto carreteras, tipo raíz cuadrada de X.

El coeficiente de correlación es igual al 78,53%, existiendo una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95%. El estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica 61,67% de la variabilidad de los accidentes.

Como se desprende del análisis, el volumen de accidentes registrado durante los últimos 10 años en las 19 carreteras analizadas guarda una razonable correlación con el grado de exposición al riesgo estimado aplicando la metodología desarrollada. Esta correlación se muestra especialmente significativa considerando segmentos o tramos de carreteras con características homogéneas tanto en lo referente a la sección transversal como a las demandas del tráfico de vehículos y ciclistas. También puede aplicarse a itinerario de mayor amplitud en carreteras, pero en este caso, la necesidad de ponderación para homogeneizar los resultados penaliza ligeramente el establecimiento de correlaciones.

Centrándonos, por tanto, en la previsión de accidentes por adelantamiento a ciclistas en segmentos de carreteras convencionales, se ha visto cómo el modelo propuesto de exposición al riesgo permite establecer una correlación entre ambos parámetros en base a modelos de tipo cuadrado doble o lineal. No obstante, aunque el primero de ellos refleja una ligera mayor correlación entre las variables, la diferencia entre ambos modelos es escasa y el modelo lineal, aparte de presentar una formulación más simple, acota mejor la casuística analizada para valores pequeños del número de accidentes (Figura 176).

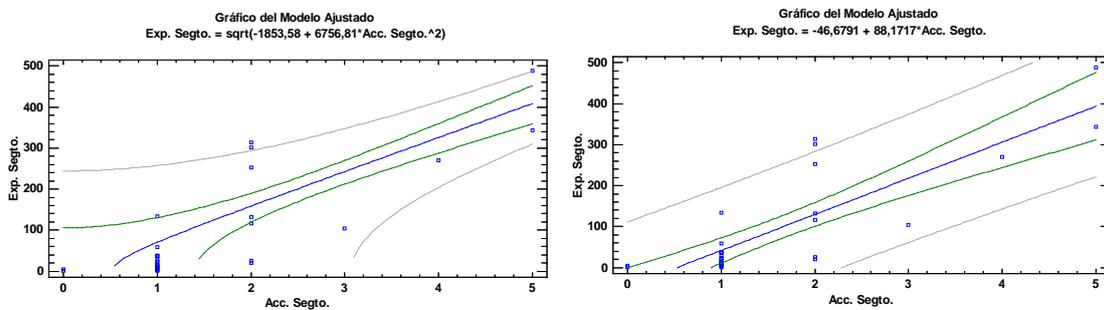


Figura 176. Correlaciones tipo cuadrado doble y lineal. Accidentes frente a exposición (Exposición < 600).

Por tanto, y como conclusión del análisis realizado, se propone un modelo para estimar la accidentalidad de ciclistas por adelantamiento en carreteras convencionales en el que se relacionan los valores previsible del percentil 85 de la fuerza lateral, F_{85} , la frecuencia temporal de fuerza acumulada, FT, junto con la demanda de vehículos y ciclistas en un segmento de carretera para obtener la exposición al riesgo previsible en el mismo. Este modelo permite establecer una relación lineal entre ese nivel de exposición y el número de accidentes por adelantamiento previsible en un periodo de 10 años.

De esta forma, partiendo de las formulaciones propuestas para:

$$F_{85} = 13,74 + 0,33 \times \%P - 1,43 \times \text{Semiplat}$$

donde:

- F_{85} es la fuerza previsible para el percentil 85 en N.
- $\%P$ es el porcentaje de vehículos pesados en tanto por ciento.
- **Semiplat** es el ancho de la semiplataforma en m.

$$FT = -11,00 + 1,28 \times F_{85} + 0,00071 \times IMD$$

donde:

- **FT** es la frecuencia de fuerza acumulada de exposición previsible en N/min.
- **F₈₅** es el percentil 85 de la fuerza previsible para esa carretera en N.
- **IMD** es la Intensidad Media Diaria de la carretera en veh/día.

$$Exp = FT \times v \times c/10^9$$

donde:

- **Exp** es la exposición al riesgo para el tramo o segmento de carretera en N/min*veh/año*cicl/año/10⁹.
- **FT** es la frecuencia de fuerza acumulada de exposición previsible en N/min.
- **v** es el número de vehículos año en el tramo o segmento.
- **c** es el número de ciclistas año en el tramo o segmento.

El número de accidentes por adelantamiento a ciclistas en una carretera convencional previsible a partir del modelo propuesto para un periodo de 10 años puede estimarse tomándose como referencia la relación:

$$n^{\circ} \text{ accidentes} = 0,863047 + 0,007807 \times Exp$$

En base a esta expresión, tomando como referencia los intervalos de confianza para el número de accidentes, y de manera simplificada, pueden establecerse los siguientes intervalos aproximados de previsión recogidos en la Tabla 64.

Nº de accidentes	Rango de exposición
0	< 5
1	5 - 85
2	85 – 170
3	170 – 260
4	245 – 370
5	310 - 480
6	> 380

Tabla 64. Accidentes previsible en función del rango de exposición al riesgo.

5.9 Correlación entre variables

Adicionalmente a las correlaciones específicas relacionadas en los apartados anteriores, se han analizado otras posibles correlaciones entre los principales parámetros analizados.

5.9.1 Separación-Velocidad

Se ha intentado buscar una posible relación entre los valores de la separación neta y la velocidad desarrollados por los vehículos durante el adelantamiento. Sin embargo, y como puede apreciarse (Figura 177), a partir de los datos recogidos durante las pruebas no es posible establecer una relación clara exclusivamente entre ambas variables. Aunque el valor-P en el análisis ANOVA es menor que 0,05, por lo que existe una relación estadísticamente significativa entre ambas variables con un nivel de confianza del 95,0%, el coeficiente de correlación es igual a 0,130045, indicando una correlación relativamente débil entre las variables.

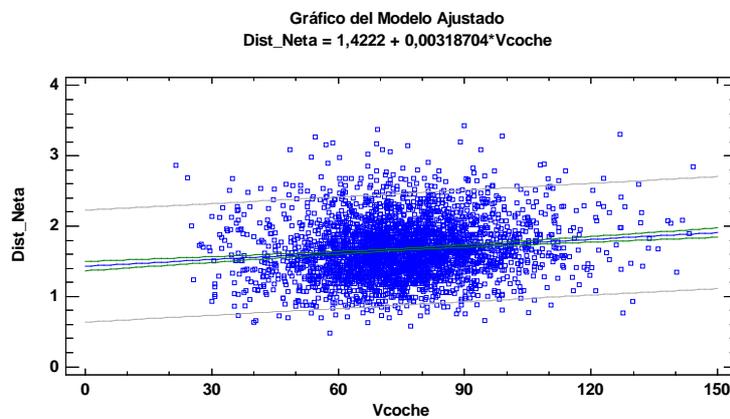


Figura 177. Correlación entre la velocidad de adelantamiento y la separación neta.

Si utilizamos valores medios (Figura 178) la correlación mejora ($r=0,473194$). Sin embargo, el valor-P en el análisis ANOVA es mayor que 0,05, por lo que no existe tampoco una relación estadísticamente significativa entre ambas variables con un nivel de confianza del 95,0%.

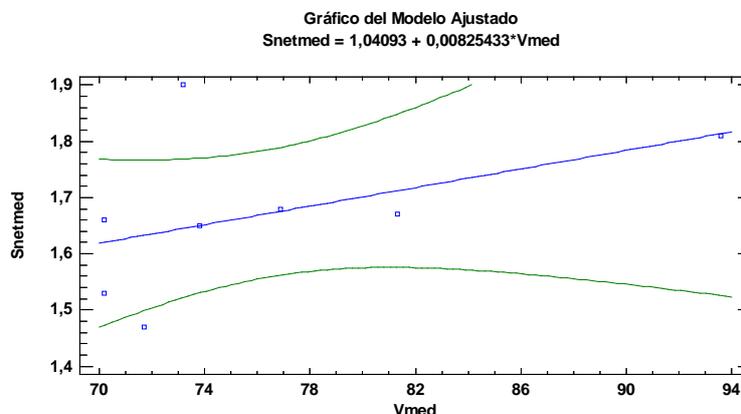


Figura 178. Correlación entre velocidad media de adelantamiento y separación neta media.

5.9.2 Separación-Semiplataforma

Respecto a la **separación neta** durante el adelantamiento, parece existir una relativa correlación ($r=0,206744$) con el ancho de la semiplataforma de la carretera (Figura 179).

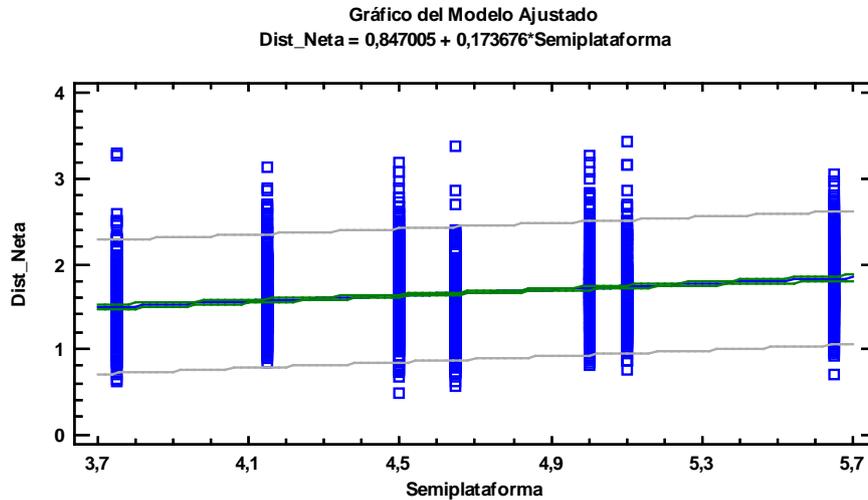


Figura 179. Correlación entre ancho de la semiplataforma y separación neta durante el adelantamiento.

Tomando los valores de la **separación neta media** para cada semiplataforma (Figura 180) el coeficiente de correlación es igual a 0,707482, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. Igualmente, el valor-P en el análisis ANOVA es menor que 0,05, por lo que existe una relación estadísticamente significativa entre ambas variables con un nivel de confianza del 95,0%. El estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica el 50,1 % de la variabilidad en la separación neta media.

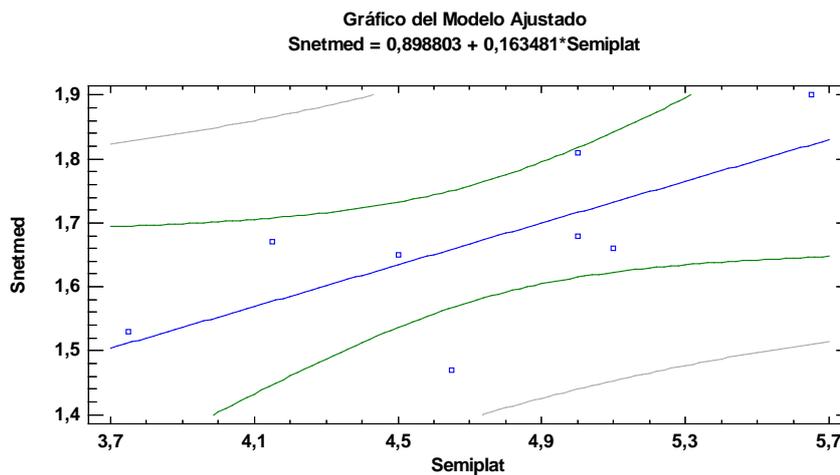


Figura 180. Correlación entre ancho de la semiplataforma y la separación neta media durante el adelantamiento.

La correlación obedece a la ecuación:

$$Snetmed = 0,898803 + 0,163481 * Semiplat$$

Donde:

- **Snetmed** es la separación neta media previsible en m
- **Semiplat** es el ancho de la semiplataforma en m

No obstante, esta correlación es mayor si tomamos como referencia la **separación semineta media** para cada semiplataforma (Figura 181). Presenta un valor-P en el análisis ANOVA menor de 0,05, existiendo también una relación estadísticamente significativa entre la separación semineta y la semiplataforma con un nivel de confianza del 95,0%. Igualmente, el estadístico R² indica que el modelo ajustado explica el 62,9 % de la variabilidad de la separación semineta media y el coeficiente de correlación es igual a 0,793154, indicando también una relación moderadamente fuerte entre las variables.

$$Ssemimed = 0,777183 + 0,211972 * Semiplat$$

Donde:

- **Ssemimed** es la separación semineta media previsible en m
- **Semiplat** es el ancho de la semiplataforma en m

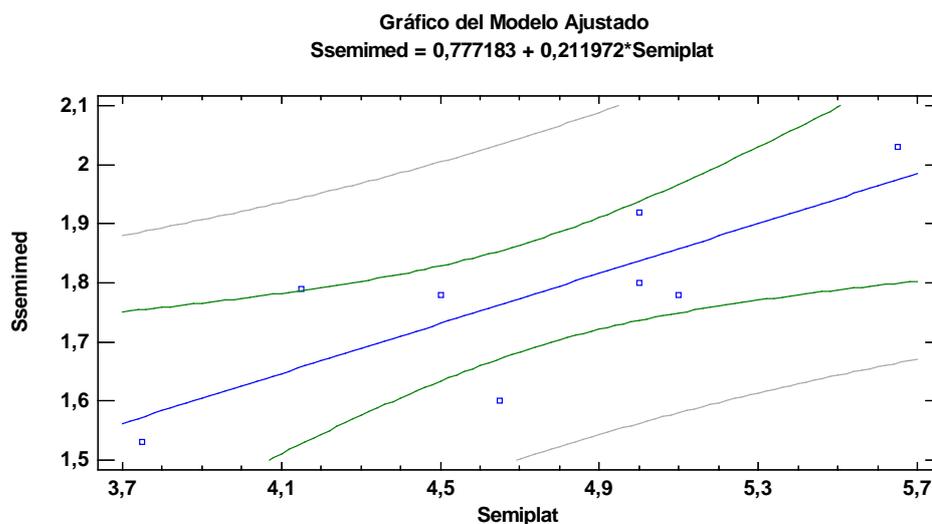


Figura 181. Correlación entre el ancho de la semiplataforma y la separación semineta media.

5.9.3 Otras correlaciones

De cara a servir como referencia para mejorar el proyecto de carreteras en las que sea previsible la presencia de ciclistas, se ha analizado la posible existencia de otras correlaciones adicionales entre los parámetros de diseño habitualmente utilizados y la separación durante el adelantamiento.

Los parámetros suelen ser la velocidad de proyecto, la sección transversal y el tráfico. La incidencia del tráfico ha sido ya considerada en apartados anteriores por su efecto en las fuerzas soportadas por el ciclista. Por ello, se ha buscado relaciones adicionales basadas en la sección transversal (semiplataforma) y la velocidad de proyecto (V_{85} libre). Estas correlaciones se han obtenido empleando los valores medios determinados a lo largo de la investigación.

5.9.3.1 Separación semineta media – Anchura de la semiplataforma – V_{85} libre

Existe una correlación razonable entre la separación semineta media, la anchura de semiplataforma y la velocidad V_{85} libre. El mejor ajuste establecido, con valores de $R^2 = 71,6\%$ y R^2 ajustado = $60,3\%$, permite correlacionar, con un nivel de confianza superior al 95% , estos parámetros, presentando un valor-P en el análisis ANOVA menor de $0,05$. La correlación entre ellos obedece a la formulación:

$$S_{semimed} = 0,405033 + 0,00376828 * V_{85} \text{ Libre} + 0,207453 * Semiplat$$

Donde:

- **$S_{semimed}$** es la separación semineta media previsible en m
- **V_{85} Libre** es la velocidad de proyecto en km/h
- **$Semiplat$** es el ancho de la semiplataforma en m

5.9.3.2 Separación semineta media – Semiplataforma - Radio medio del tramo

La consideración de la geometría, en base al radio medio del tramo, también aporta una correlación a considerar. Aunque el valor-P en el análisis ANOVA es $0,06$, ligeramente superior a $0,05$, y en principio, no existiría una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del $95,0\%$, el estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el $66,7\%$ de la variabilidad de la separación semineta media y el estadístico R^2 ajustado el $53,4\%$. La correlación obedece a la ecuación:

$$S_{semimed} = 0,721843 + 0,226965 * Semiplat - 0,00000955948 * R_{med}$$

Donde:

- **$S_{semimed}$** es la separación semineta media previsible en m
- **$Semiplat$** es el ancho de la semiplataforma en m
- **R_{med}** es el radio medio del tramo en m

5.9.3.3 Velocidad adelantamiento – V_{85} libre – Semiplataforma – Radio medio del tramo

Respecto a la velocidad durante el adelantamiento, es posible establecer el percentil 85 de la velocidad previsible durante el adelantamiento en base a la V_{85} libre, el ancho de la semiplataforma y el radio medio del trazado. La correlación entre estos parámetros presenta un valor-P menor de $0,05$, por lo que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del $95,0\%$. Igualmente, el estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el $94,9\%$ de la variabilidad de la V_{85} durante los adelantamientos.

La correlación obedece a la ecuación:

$$V_{85Adel} = 19,562 + 0,662324 * V_{85Libre} - 0,00127314 * R_{med} + 0,99504 * Semiplat$$

Donde:

- **V_{85Adel}** es el valor del percentil 85 de la velocidad durante el adelantamiento en km/h
- **$V_{85Libre}$** es el valor del percentil 85 de la velocidad libre en km/h
- **$Semiplat$** es el ancho de la semiplataforma en m
- **R_{med}** es el radio medio del tramo en m

5.10 Análisis adicionales

5.10.1 Percepción del ciclista

Dentro del equipamiento con el que se instrumentó la bicicleta se incluyó un micrófono a través del cual poder grabar las impresiones percibidas por el ciclista durante las maniobras de adelantamiento. Igualmente, se recogieron las impresiones tras las pruebas.

En el caso de las grabaciones, la calidad fue relativamente buena, aunque bastante afectada por el ruido de fondo, especialmente en tramos de bajada donde las mayores velocidades de la bicicleta impedían, prácticamente, escuchar los comentarios.

Una vez analizados los comentarios sobre las percepciones del ciclista, podemos extraer las siguientes percepciones más significativas:

- La percepción de seguridad es mayor cuanto mayor es la separación durante el adelantamiento y menor es la velocidad.
- Comparativamente, en el caso de vehículos de mayor volumen, furgonetas y camiones, la sensación de seguridad requiere mayores separaciones que si el adelantamiento se realiza por un vehículo pequeño, aunque la velocidad sea similar.
- Destaca la mayor sensación de peligrosidad vinculada al adelantamiento de camionetas y furgonetas grandes.
- Se sigue manteniendo la sensación de seguridad, aunque las separaciones sean menores, siempre y cuando las velocidades sean bajas. Esta circunstancia es extensible, incluso, a los camiones.
- En los adelantamientos recibidos no parece percibirse sensación de inseguridad en los casos en los que durante la maniobra se ha producido cruce del vehículo adelantante con vehículos opuestos salvo en el caso de que sean camiones.
- El mantenimiento de separaciones aceptables obliga en muchas ocasiones a los vehículos de mayor tamaño a invadir el carril contrario, esté o no permitido el adelantamiento.
- Si la visibilidad es buena, se pueda o no adelantar, y no existen vehículos en sentido contrario, los vehículos tienden a realizar maniobras generosas durante el adelantamiento, invadiendo el carril contrario y aumentando la separación durante la maniobra. Esto puede obedecer al hecho de que, aunque no esté permitido el adelantamiento, la maniobra para adelantar a un ciclista consume mucho menos

espacio que para adelantar a otro vehículo, por su tamaño y su velocidad, por lo que se puede adelantar aún con línea continua y con visibilidad más reducida.

- En los adelantamientos en curvas a izquierda se percibe una sensación de mayor separación durante el adelantamiento y que suele conllevar la invasión del carril contrario, mientras que en los realizados en curvas a derecha parece percibirse que a los conductores les cuesta más mantener una separación razonable, más aún si viene otro vehículo en sentido contrario.
- Sólo los camiones generan sensación de rebufo o empujes aerodinámicos, no siendo tan sensibles sensaciones de este tipo en el resto de vehículos salvo en el caso de las furgonetas grandes.
- Los arcones coloreados generan una sensación de que los vehículos no modifican su trayectoria y desarrollan velocidades altas, como si fuese una zona protegida.
- La presencia de barrera de seguridad impide al ciclista aprovechar bien todo el ancho del arcén con la repercusión desfavorable en las separaciones.
- En carreteras de mayor rango, vinculadas a desplazamientos de medio y largo recorrido, los conductos parecen ser más impacientes y agresivos que en las de menor nivel en las que los conductores parecen ser más pacientes y respetuosos y circulan a menor velocidad.

6 Discusión

En esta sección se comparan las principales conclusiones de la investigación, tanto a nivel de la metodología aplicada como de los resultados del análisis, con los obtenidos en otras investigaciones previas realizadas por otros autores. El capítulo se ha dividido en varios apartados, cada uno de ellos relacionado con los principales aspectos referentes tanto a la metodología desarrollada como a los resultados de los análisis efectuados.

6.1 Cuestiones generales

El estudio in situ del fenómeno de adelantamiento de ciclistas no ha sido objeto de excesivas investigaciones hasta la fecha, siendo más numerosas las que se han centrado en el análisis formal de los datos y estadísticas de accidentes y sus causas, tanto en zona urbana, periurbana o interurbana.

Son escasas las iniciativas orientadas a analizar el fenómeno del adelantamiento mediante imágenes y toma de datos in situ del fenómeno y, dentro de éstas, aún menos las que se han apoyado en la utilización de bicicletas instrumentadas para realizar esa toma de datos in situ durante la maniobra de adelantamiento.

Watts (1977, 1980 y 1984) fue el primero en utilizar esta metodología en una serie de investigaciones sucesivas colocando una cámara en una bicicleta híbrida y midiendo luego separaciones sobre las fotografías tomadas para, más adelante, incorporar un distanciómetro de ultrasonidos.

Walker et al. (2006) fueron los siguientes en utilizar una bicicleta híbrida en la que instalaron un distanciómetro de ultrasonidos y una cámara almacenando la información recopilada en un registrador de datos y un ordenador.

Igualmente, Parkon et al. (2006) utilizaron una bicicleta híbrida colocando una cámara de vídeo en el pecho del ciclista.

Parkin y Meyers (2009) también utilizaron una bicicleta híbrida en la que dispusieron una cámara de vídeo con un dispositivo de grabación para luego medir distancias directamente sobre las imágenes de vídeo.

Chapman y Noyce (2010 y 2012) fueron los primeros en utilizar una bicicleta de carreras. La instrumentaron mediante la colocación de cámaras de vídeo delantera y trasera, un distanciómetro de ultrasonidos, un GPS y un portátil para almacenar los datos que luego eran procesados en gabinete.

Love et al. (2012) dispusieron también una cámara en una bicicleta híbrida y las imágenes fueron analizadas en gabinete y medir distancias.

Dozza y Werneke (2014) instrumentaron una bicicleta mixta con una cámara frontal, dos unidades de medida inerciales, GPS y sensores de fuerza inerciales. La información recopilada sirvió para determinar situaciones de riesgo para el ciclista, aunque no se determinaron separaciones o velocidades. También, posteriormente Dozza et al. (2015) instrumentaron otra

bicicleta híbrida, en este caso eléctrica, a la que dotaron de un dispositivo LIDAR, dos cámaras y un dispositivo GPS para determinar las zonas de confort durante la maniobra de adelantamiento para los vehículos en carreteras interurbanas.

Metha (2015) también utilizó una bicicleta instrumentada dotada de un distanciómetro ultrasónico, una cámara y un GPS para determinar separaciones y velocidades.

Finalmente, la N.Z. Transport Agency (2016) también utilizó una bicicleta estaba dotada de 2 dispositivos Lidar para medir la separación y la velocidad durante la maniobra, cámara de vídeo, GPS, velocímetro, ordenador, batería, acelerómetro y giroscopio y un pulsador para que el ciclista, en base a la mayor o menor duración de la pulsación, marcara su mayor o menor percepción de riesgo durante la maniobra sufrida.

En la presente investigación se han utilizado dos tipos diferentes de bicicletas, carretera y montaña, y no sólo una como en todas las citadas, a la que se les ha dotado de tres cámaras de vídeo, un GPS, un equipo de medición de velocidades basado en la tecnología láser, dos distanciómetros, un micrófono, un sistema de almacenamiento de datos las dos cámaras digitales de tamaño reducido, el receptor GPS y el micrófono y un pequeño ordenador portátil al que se conectan los dos distanciómetros y los medidores de velocidad puntual a parte del conjunto de accesorios como cableado y baterías necesarios.

Como puede observarse, el equipamiento empleado ha sido mucho más completo que el utilizado en la mayoría de las investigaciones específicas citadas. Cabe destacar únicamente, a nivel de análisis de la maniobra de adelantamiento, la novedad sobre instrumentación introducida por Dozza et al. (2015) y la N.Z. Transport Agency (2016) al utilizar dispositivos LIDAR. Estas dos investigaciones son posteriores a la fase de toma de datos de la presente tesis y abren una vía interesante por el gran abanico de posibilidades que ofrece ese tipo de dispositivo para la toma de datos in situ.

Más allá de la instrumentación física, es destacable también la utilización de un simulador de conducción empleada por Bella y Silvestri (2017) para la obtención de información sobre la maniobra y el comportamiento del conductor.

Tal y como se ha indicado, en esta investigación se han empleado los dos tipos de bicicletas más utilizadas habitualmente en España para circular por carretera con el fin de poder comparar el comportamiento de los vehículos durante el adelantamiento. Esta posible diferenciación de tipo de bicicletas no ha sido tenida en consideración en ninguna de las investigaciones revisadas.

6.2 Toma de datos

En todas las investigaciones realizadas con bicicletas instrumentadas, la toma de datos y determinación de separaciones se ha realizado, bien indirectamente midiendo sobre fotografías e imágenes de video, o bien directamente mediante la utilización de distanciómetros de ultrasonidos. La primera técnica, utilizada especialmente en las primeras investigaciones, debe descartarse en la actualidad ante la existencia de otros instrumentos de medición directa asequibles y de mucha mayor precisión. Igualmente, la utilización de distanciómetros de

ultrasonidos está superada en cuanto a calidad y precisión por los distanciómetros láser actualmente existentes en el mercado y que han sido utilizados en la presente investigación.

Por su parte, la medición de velocidades durante la maniobra ha sido realizada de manera indirecta en las escasas investigaciones en las que se ha tenido en cuenta esta variable, bien a través de vídeos como Hunter (1999), o en base a la frecuencia de barrido del distanciómetro de ultrasonidos como Metha (2015). Sólo Dozza et al. (2015) utiliza una tecnología más moderna, el LIDAR, para su análisis.

En el caso de la presente investigación se ha realizado de manera directa y automática mediante la utilización de un velocímetro láser, instrumento específico que ha permitido recoger de manera mucho fiable la velocidad específica del vehículo adelantante durante la maniobra que en el resto de las investigaciones analizadas.

La utilización de cámaras de vídeo es general en todas las investigaciones, bien sea para determinar separaciones durante las maniobras de adelantamiento o bien para analizar otras circunstancias como la ocupación del carril contrario por el vehículo adelantante o la detección de circunstancias de riesgo. No obstante, y a la vista de los análisis realizados en la presente investigación, es importante poner de manifiesto la importancia que puede llegar a tener la calidad y resolución de la cámara, así como el número de ellas. La utilización de tres cámaras, una de ellas de alta resolución, enfocando hacia las zonas trasera, lateral y frontal ha permitido tener una visión completa de las maniobras de adelantamiento a partir de la cual se han determinado de manera precisa longitudes de ocupación del carril contrario, el momento de cruce con opuestos y las visibilidades disponibles.

Ninguna de las investigaciones ha utilizado tres cámaras, dos a lo sumo, y no han profundizado en la determinación de esos parámetros, salvo Dozza et al. (2015) con la utilización del dispositivo LIDAR.

6.3 Variables analizadas

Las investigaciones realizadas presentan una gran dispersión en las variables que definen la circulación de bicicletas y las maniobras de adelantamiento a las mismas.

La primera variable importante de análisis es la separación durante la maniobra entre el vehículo adelantante y el ciclista. Aunque esta variable ha sido considerada en la mayoría de las investigaciones revisadas, en todas ellas se utiliza como separación de referencia la distancia entre la superficie lateral del vehículo adelantante y el extremo del manillar más próximo. A esta separación se le ha denominado separación semineta en la presente investigación. Sin embargo, esta separación no es la que representa el mayor riesgo para el ciclista dado que el elemento más próximo al ciclista durante la maniobra es el retrovisor del vehículo, elemento que sobresale de su superficie y que primero impactaría sobre él, salvo en el caso de los camiones y autobuses en los que la altura del retrovisor se sitúa por encima de la altura del ciclista. En la presente investigación sí se ha tenido en cuenta esta circunstancia, habiéndose determinado también la denominada separación neta como resultado de reducir la separación semineta en el vuelo del retrovisor salvo en el caso de camiones y autobuses.

Respecto a la otra gran variable empleada, la velocidad, sí que es utilizada en diversas investigaciones, siendo destacable el hecho de que, en alguna de ellas, concretamente, Dozza et al. (2015), se analiza no sólo la velocidad instantánea en el momento del adelantamiento sino también la variación de la misma a lo largo de toda la maniobra.

En escasas investigaciones se profundiza en la influencia de la visibilidad salvo en el caso de Dozza et al. (2015) o en la incidencia de la geometría del trazado, Chapman y Noyce (2012) y Bella y Silvestri (2017). Sí son varias, por el contrario, las que profundizan en la incidencia de la sección transversal como es el caso de Harkey y Stewart (1997), Hunter (1999 y 2005), Parkin y Meyers (2009), Chapman y Noyce (2012), Dozza et al. (2015) y Bella y Silvestri (2017)

Otras variables, como el tiempo o la longitud de ocupación del carril contrario, han sido analizadas en algunas de las investigaciones recopiladas, como es el caso de Harkey y Stewart (1997), Chapman y Noyce (2010 y 2012), Savolainen et al. (2012) y Dozza et al. (2015), aunque limitándose en algunas de ellas a registrar si se ocupaba el carril contrario o si se pisaba la marca vial de separación.

6.4 Resultados obtenidos

Las investigaciones revisadas han abarcado un amplio abanico de carretas, tanto de tipo urbano, como periurbano, como interurbano, y con diferentes tipos de secciones transversales. Dado que la presente investigación se ha centrado en la maniobra de adelantamiento en carreteras convencionales interurbanas de calzada única y con arcenes pavimentados, las comparativas con los resultados obtenidos en otras investigaciones se va a centrar, principalmente, en aquellas con condiciones de contorno asimilables.

6.4.1 Separación

Respecto a la principal variable analizada en todas las investigaciones, la separación durante la maniobra de adelantamiento, lo primero que cabe destacar es que sólo en esta investigación se ha analizado la que se ha denominado separación neta, separación entre el borde del retrovisor y el lateral del ciclista, como distancia mínima real efectiva entre el vehículo adelantante y el ciclista. Esta distancia es la que realmente acota el riesgo de impacto durante la maniobra salvo en el caso de camiones y autobuses en los que la altura del retrovisor queda por encima del cuerpo del ciclista. De hecho, en el análisis de accidentes por adelantamiento registrados en las carreteras analizadas se ha detectado la existencia de varios accidentes provocados por impacto del retrovisor del vehículo sobre el ciclista.

La separación neta varía entre un mínimo de 0,48 m y un máximo de 3,43 m, con un valor medio de 1,66 m, con un percentil 85 de 2,07 m. La existencia o no de colas no se ha reflejado como significativa, obteniéndose valores medios similares.

Si distinguimos entre tipo de bicicletas, se aprecia que la separación en el caso de los adelantamientos realizados a bicicleta de montaña es algo mayor, 1,70 m, frente a 1,62 m en el caso de los realizados a bicicleta de carretera, existiendo una diferencia estadísticamente significativa en la separación neta durante el adelantamiento atendiendo al tipo de bicicleta

adelantada. Aunque en algunas investigaciones se ha analizado la posible incidencia de algunos parámetros como sexo, uso de casco, vestimenta, accesorios..., en ninguna de ellas se ha analizado este factor. La diferencia entre ambas puede deberse a la percepción del conductor que identifica al ciclista profesional con la bicicleta de carretera y al aficionado, más vulnerable, con la de montaña.

Si consideramos estrictamente la separación semineta, equivalente a la analizada en las investigaciones revisadas, considerada como distancia mínima entre la superficie lateral del vehículo adelantante y el ciclista, la distancia semineta media obtenida es de 1,79 m. Por tanto, 13 cm superior a la neta.

Estos valores de separación media se sitúan en el rango de los obtenidos en otras investigaciones. En la Tabla 65 se recogen los intervalos de separaciones medias registradas en diversas investigaciones. Todos ellos se mantienen dentro del mismo rango salvo las obtenidas por Walker et al. (2006) y que se manifiestan inferiores al resto.

AUTOR	SEPARACIÓN (m)
Watts (1977)	1,62 m - 2,04 m
Harkey y Stewart (1997)	1,65 m - 1,83 m
Hunter et al. (2005)	1,96 m - 2,31 m
Walker et al. (2006)	1,10 m - 1,35 m
Parkin y Meyers (2009)	1,00 m - 1,70 m
Chapman y Noyce (2012)	1,92 m - 1,95 m
Dozza et al. (2015)	1,30 m - 1,70 m
N.Z. T. A. (2016)	2,02 m
Bella y Silvestri (2017)	1,10 m - 1,74 m

Tabla 65. Rangos de separaciones medias en diversas investigaciones.

Aunque no se ha analizado como tal, dado que se ha analizado la maniobra desde el punto de vista del ciclista, la propia presencia de éste se manifiesta como una variable significativa sobre la separación ya que modifica la posición lateral del conductor durante el adelantamiento en relación con su posición transversal durante la circulación sin presencia de ciclista. Esta circunstancia sí que ha sido analizada y establecida como significativa en sus conclusiones por Bella y Silvestri (2017).

Respecto al tipo de vehículo, los vehículos ligeros y los camiones son los vehículos que mayor separación media han mantenido, mientras que los todoterrenos, furgonetas y camionetas son los que menos separación presentan. No existe una diferencia estadísticamente significativa entre las separaciones mantenidas por los coches, furgonetas y camiones pequeños. Por el contrario, sí que se aprecia una diferencia estadísticamente significativa en el caso de la separación neta media mantenida por los camiones, 1,75 m, respecto al resto de vehículos, cuya separación media es de 1,65 m. Es decir, se aprecia un comportamiento diferenciado entre los vehículos ligeros y los pesados.

Sin embargo, no existe una diferencia sensible en la separación semineta media registrada, 1,79 m de media. Esto es debido a que la diferencia entre separaciones netas no contempla una

deducción por la longitud del retrovisor de los camiones al volar éste por encima de la cabeza del ciclista y parece poner de manifiesto que los conductores, independientemente del vehículo que conduzcan, no tienen en cuenta el riesgo adicional que implica el retrovisor, guardando una separación de seguridad tomando como referencia el borde lateral del vehículo.

Esta influencia del tipo de vehículo en la separación semineta sí que se establece como estadísticamente significativa por Walker et al. (2006), con menores separaciones para autobuses y camiones (1,10 m – 1,17 m) frente a la mantenida por los turismos (1,27 m – 1,35 m), al contrario de lo obtenido en la presente investigación.

También Parkin y Meyers (2009) distinguen entre categorías de vehículos tipo coche, furgoneta y camiones y autobuses, con separaciones de 1,52 m, 1,48 m y 1,59 m respectivamente en carretera con límite de velocidad 80 km/h con carril bici y 1,70 m, 1,49 m y 1,40 m sin carril bici.

Igualmente, Chapman y Noyce (2012) distinguen entre diversos tipos de vehículos, concretamente 10 tipologías, determinando separaciones con y sin carril bici pavimentado. En ambas circunstancias, los camiones tienden a guardar una mayor separación media, en torno a los 7 pies, 2,10 m, mientras que los vehículos de menor tamaño guardan separaciones menores, sobre los 6,2 pies, 1,90 m.

Como puede verse, no existe uniformidad en cuanto al comportamiento de los vehículos, pero parece existir mayor coincidencia en los datos que ponen de manifiesto una tendencia de los vehículos pesados a mantener una mayor separación durante la maniobra de adelantamiento, coincidiendo con lo obtenido en la presente investigación.

Tanto en esta investigación como en varias de las revisadas, se ha analizado el cumplimiento de las separaciones mínimas legales en los países de referencia de existir. Cabe indicar que no en todos los países, o estados de éstos con competencia legislativa, se contempla la existencia de una separación mínima durante la maniobra de adelantamiento. En aquellos en los que sí se ha establecido, a su vez nos encontramos con casos como el de España, dónde se contempla una única referencia, 1,50 m, otros dónde se ha fijado en 3 pies o 1 m y con casos dónde existen dos posibles referencias, 3 pies o 1 m en carreteras urbanas y 1,50 m en interurbanas.

En el presente caso, la separación media se sitúa por encima de 1,50 m, valor mínimo de la separación establecido en la legislación española. Sin embargo, más de una tercera parte de los vehículos, un 36,5 %, no respetó esa separación mínima

Dentro de este conjunto de vehículos que mantuvo una separación inferior a 1,50 m durante el adelantamiento, el 95% de ellos guardó una separación superior a 0,90 m. Se aprecia que los camiones son los vehículos menos respetuosos a este respecto, no existiendo una diferencia significativa en el comportamiento mantenido entre el resto de categorías.

No obstante, si consideramos la separación semineta, nos encontramos con un 25% de casos en los que esa separación semineta ha sido menor o igual a 1,50 m, resultando igualmente significativo el caso de los vehículos pesados. El 95 % de los vehículos en esta situación mantienen una separación semineta de, al menos 1 m.

Se refleja un porcentaje alto de incumplimiento de la separación mínima legal, aunque en un 95 % de los adelantamientos respeta una separación superior a 1 m. Esta separación mínima de 1 m, ó 3 pies en el ámbito anglosajón, sí que se cumple en general en todas las investigaciones analizadas.

En cualquier caso, no es posible, ni tampoco formaba parte de sus objetivos, extender las conclusiones de la presente investigación a otros países en lo referente a la separación mínima legal contemplada en España dado que el hecho de ser diferente el marco legal de unos países a otros condiciona el comportamiento de los conductores a la hora de efectuar la maniobra de adelantamiento.

6.4.2 Velocidad

Respecto a las velocidades de los vehículos adelantantes medidas durante el adelantamiento el valor medio registrado ha sido de 75,3 km/h, con un mínimo de 21,5 km/h y un máximo de 144,1 km/h, situándose el percentil 85 en 91 km/h. Existe una diferencia significativa en la velocidad durante el adelantamiento atendiendo al tipo de bicicleta adelantada, de carretera o de montaña, aunque en valor absoluto es de unos escasos 2 km/h a favor del segundo caso.

Si atendemos a las categorías de los vehículos, los vehículos ligeros y las furgonetas grandes son los que mayor velocidad media mantienen durante el adelantamiento, mientras que los camiones son los que menor velocidad desarrollan. No obstante, la diferencia entre unas y otras no es muy alta, 4,5 km/h. Existe una diferencia significativa entre la velocidad media de los vehículos de Tipo 1 (vehículos ligeros), de Tipo 2 y 3 (todoterrenos, furgonetas y camionetas), y de Tipo 4 (camiones y autobuses).

En todos los casos las velocidades medias de adelantamiento se sitúan por debajo de las velocidades medias del tramo y en el entorno de la velocidad legal que regula la carretera. Igualmente, los valores de las velocidades en el momento del adelantamiento se han mantenido, de manera generalizada, sensiblemente por debajo del percentil 85 de la velocidad real de los puntos donde se han producido.

Las velocidades de adelantamiento registradas pueden ser consideradas como altas, ligadas a las condiciones de la vía y a sus limitaciones legales y no tanto a la presencia del ciclista, y vienen a coincidir con las conclusiones establecidas por algunos autores que han analizado también este parámetro. Dozza et al. (2015) concluyen que, de forma general, los adelantamientos se producen a alta velocidad (aprox. 70 km/h) y que ni el límite de velocidad ni la velocidad del vehículo influyen en la zona de confort del conductor, es decir, no cambia su comportamiento en relación a este parámetro por la presencia del ciclista. Igualmente, Bella y Silvestri (2017) concluyen que la presencia del ciclista no se muestra como variable significativa sobre la velocidad del conductor. Sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación ponen de manifiesto que la presencia de un ciclista y su adelantamiento sí afecta de manera significativa a los valores medios obtenidos, existiendo una diferencia de 8 km/h.

Finalmente, del análisis realizado se desprende que la existencia de colas afecta de manera significativa a la velocidad media, siendo menor en el caso de adelantamiento en grupo, 72,9 km/h frente a 76,0 km/h cuando el adelantamiento es libre. Como era de esperar, la velocidad

de adelantamiento de los vehículos del grupo está condicionada por la del vehículo que los encabeza. Esta variable no ha sido analizada en las investigaciones revisadas.

6.4.3 Geometría de la carretera

La separación neta media de los adelantamientos en el caso de curvas a derecha ha sido de 1,67 m, en el caso de curvas a izquierda 1,78 m y en el caso de rectas 1,64 m. Existe, por tanto, una importante tendencia por parte de los vehículos a cerrarse hacia el interior de las curvas a izquierda, separándose del ciclista, y existe una diferencia significativa respecto a las separaciones obtenidas en recta o en curva a la derecha, entre las cuales también se aprecia una cierta diferencia aunque no tan marcada.

Cabe destacar el hecho de que, a partir de los datos obtenidos en esta investigación, la posible tendencia a cerrarse en curvas a derecha no lleva a separaciones inferiores a las que se tendría en adelantamientos en recta. Estas conclusiones coinciden con las obtenidas por Bella y Silvestri (2017), aunque los valores de separaciones que obtiene a través del simulador de conducción son inferiores a los obtenidos a partir de los datos reales de la presente investigación, especialmente en rectas y curvas a derecha. Concretamente, sus separaciones medias se situaron, según ancho creciente de arcén, entre 1,66 m y 1,74 m para las curvas a izquierda, entre 1,28 m a 1,24 m en curvas a derecha y entre 1,10 m y 1,21 m en las rectas.

Respecto a la incidencia del trazado en alzado, en general, las carreteras en las que se han desarrollado las pruebas en la presente investigación no presentaban un perfil longitudinal con pendientes singulares, siendo más o menos ondulados con pendientes medias crecientes o decrecientes en el sentido de avance de la prueba. En los adelantamientos realizados en rampa la separación media durante los adelantamientos ha sido de 1,67 m mientras que en los realizados en pendiente ha sido de 1,69 m. Por su parte, la velocidad media durante los adelantamientos realizados en rampa ha sido de 75,7 km/h, mientras que en los realizados en pendiente ha sido de 79,3 km/h.

Como puede apreciarse, en los adelantamientos en rampa los vehículos guardan en general una menor separación y lo hacen a menor velocidad que en los casos en pendiente. En las investigaciones revisadas no se ha profundizado en este aspecto salvo Chapman y Noyce (2012) que analizan la ocupación del carril contrario para carreteras con y sin arcén pavimentado teniendo en cuenta la pendiente. Concretamente, sus observaciones ponen de manifiesto bajas ocupaciones del carril contrario con arcenes pavimentados (por debajo del 15 %) tanto en subida, como en bajada como en llano, mientras que, con arcenes sin pavimentar, la ocupación del carril contrario sube notablemente, sobre un 40 % en llano y bajada y llega casi al 94 % en subida.

6.4.4 Sección transversal

Las carreteras estudiadas en esta investigación disponen de diferentes secciones transversales con carriles y arcenes de diferentes anchuras, siempre pavimentados. Además, en dos de las carreteras en las que se han realizado las pruebas, el arcén estaba coloreado de rojo para su uso específico ciclista.

Respecto a las investigaciones revisadas, cabe destacar el hecho de que en varias de ellas se da la circunstancia de que se analizan también carreteras con arcenes sin pavimentar y se comparan con pavimentados, circunstancia aparentemente habitual en el ámbito anglosajón. Igualmente, en diversas de estas investigaciones se analizan también arcenes pavimentados como si fuesen carriles bici adosado estando delimitados por una marca vial longitudinal especial o mediante su coloreado.

Respecto a los resultados obtenidos en la presente investigación, se aprecia una cierta tendencia a un aumento de la separación durante el adelantamiento conforme aumenta la anchura disponible, desde 1,53 m hasta 1,90 m de media, tanto considerando la semiplataforma como exclusivamente el arcén, con la excepción de una semiplataforma intermedia con carril de 3,15 m y arcén de 1,50 m coloreado para uso específico de bicicletas en la que la separación media baja hasta 1,47 m. No obstante, las diferencias no acaban de mostrarse como significativas salvo para el caso de las carreteras con mayor y menor ancho de semiplataforma y arcén en las que se producen las mayores y menores separaciones, respectivamente, durante el adelantamiento. En el caso concreto de la carretera CV-310, se trata de una de las dos carreteras con arcenes coloreados para bicicletas en las que se han realizado las pruebas. La menor separación podría deberse a las menores dimensiones tanto del carril como del arcén y, por tanto, de la anchura de la semiplataforma, pero si analizamos la separación media en función de las semiplataformas del resto de tramos nos encontramos con que en esta carretera la separación media es siempre inferior a la obtenida en el resto de carreteras con semiplataformas menores. Por otra parte, en la otra carretera con arcén coloreado, la CV-315, dispone carriles de 3,15 m y arcenes de 2,50 m, se han obtenido separaciones medias muy amplias, 1,90 m frente a 1,66 m de media consecuencia de lo amplio del arcén.

Respecto a la influencia de la sección transversal sobre la velocidad durante el adelantamiento, los resultados de la presente investigación ponen de manifiesto que éstas parecen estar más ligadas a las características geométricas de la vía y, aunque aparecen diferencias significativas tanto para algunos anchos de la semiplataforma como del arcén, éstas no parecen obedecer a una causa diferenciadora.

A este respecto, varios son los autores que han estudiado la influencia de la sección transversal y la existencia de arcenes para uso ciclista delimitados por señalización, o coloreados. Harkey y Stewart (1997) concluyeron que los conductores de los vehículos eran mucho menos propensos a invadir el carril adyacente al adelantar a un ciclista en carreteras con arcenes pavimentados o carriles para bicicletas al variar menos su posición lateral en este tipo de plataformas, de forma que la presencia de líneas de separación entre ciclistas y vehículos disminuía el número de maniobras extrañas.

Igualmente, Hunter (1999) comprobó que los ciclistas se situaban, generalmente, en la misma posición tanto en los tramos con arcén coloreado como en los tramos sin colorear, siendo la separación entre el vehículo adelantante y el ciclista mayor incluso en los tramos sin arcenes coloreados y no existiendo diferencia de velocidad media de los vehículos antes o después de dicho arcén coloreado. Este mismo autor, en una investigación posterior (2005) concluyó, tras analizar la conversión de una sección con carriles de uso compartido en otra con carril separado

para ciclista, que con la conversión la separación durante el adelantamiento aumentó entre 4 y 6 pulgadas (10 a 15 cm) y que disminuyó la invasión del carril contrario durante la maniobra.

También Parkin y Meyers (2009) llegaron a la conclusión de que cuando existía arcén reservado para ciclistas, si éste no era lo suficientemente ancho en consonancia con la velocidad general del tráfico existente, los conductores mantenían menores distancias durante las maniobras de adelantamiento que en tramos de carretera sin carril bici. Por lo tanto, los carriles bici no proporcionaban mayores separaciones en todas las condiciones.

Por su parte, Chapman y Noyce (2012) concluyeron que las separaciones prácticamente se mantenían constantes, independientemente de que hubiese o no carril bici pavimentado.

También Dozza et al. (2015) concluyeron que las anchuras de carril y arcén no afectaban significativamente a la zona de confort del conductor.

Finalmente, Bella y Silvestri (2017) han llegado a la conclusión, según su investigación mediante simulador de conducción, de que la sección transversal sí se manifiesta como una variable significativa respecto a la separación durante el adelantamiento, aunque no sobre la velocidad, de forma que un carril bici más ancho da lugar a una mayor separación durante el adelantamiento. Igualmente, la anchura del carril para vehículos afecta la posición lateral adoptada por el conductor, induciéndole a elegir una trayectoria más próxima al eje del carril cuanto más estrecho es éste. Sin embargo, la anchura del carril del vehículo no afecta a la velocidad del conductor. Estas conclusiones se aproximan a las obtenidas en la presente investigación.

Como puede apreciarse, muchos son los autores que han estudiado la incidencia de la anchura de la sección transversal y de la existencia de arcén pavimentado o carril bici adosado integrado en el arcén, no existiendo una conclusión unánime al respecto. De hecho, en la presente investigación se aprecia cierta tendencia a un aumento de la separación neta durante el adelantamiento conforme aumenta la anchura disponible, tanto considerando la semiplataforma como exclusivamente el arcén. Sin embargo, las diferencias no acaban de mostrarse como significativas salvo para el caso de las carreteras con mayor y menor ancho de arcén como se ha indicado, en las que se producen las mayores y menores separaciones, mientras que para el resto de anchos intermedio de arcén los valores obtenidos se sitúan en la media. Similar comportamiento se ha observado considerando el semiancho de la plataforma.

No obstante, sí que parece desprenderse el hecho de que la existencia de carriles y arcenes claramente delimitados ejerce un efecto de guiado y acotación de espacios, de forma que los vehículos tienden a desplazarse menos lateralmente o, al menos, de una forma menos descontrolada. Igualmente, secciones transversales amplias con arcenes amplios generan separaciones elevadas. Es este sentido, de los resultados obtenidos en la presente investigación se puede afirmar que semiplataformas superiores a 4,50 m, con arcenes pavimentados de al menos 1 m garantizarían separaciones medias superiores a 1,50 m. Debe tenerse en cuenta, adicionalmente que la zona de seguridad mínima para la circulación de un ciclista es de 1 m, por lo que un arcén en tramos con circulación de ciclistas debería tener ese ancho mínimo.

Por otra parte, tanto en esta investigación como en el resto de las analizadas, sí que parece desprenderse que el coloreado del arcén hace que los conductores tiendan a no separarse tanto del ciclista durante el adelantamiento, como si se tratase de un carril segregado, manteniendo velocidades altas y aumentando la peligrosidad durante el adelantamiento. Esta sensación fue también puesta de manifiesto por el ciclista durante las pruebas realizadas. Igualmente, y respecto a la velocidad, ésta se sitúa ligeramente por debajo de la media, lo que pone de manifiesto que la presencia del arcén coloreado no se traduce en una especial moderación en la misma. En general, las velocidades durante el adelantamiento parecen estar más ligadas a las características geométricas de la vía.

Por tanto, sí que puede concluirse que el arcén coloreado no contribuye, aparentemente, a disminuir sensiblemente la velocidad durante los adelantamientos, pero se traduce también en menores separaciones durante el mismo, derivadas de que los vehículos parecen mostrar tendencia a mantener su trazado al interpretar la zona coloreada como una zona “protegida”.

6.4.5 Visibilidad

A través de los vídeos grabados se ha determinado la visibilidad durante el adelantamiento, tanto hacia delante como hacia atrás desde el punto de vista del ciclista. Aunque no se desprende una correlación entre la visibilidad disponible y la separación y velocidad durante la maniobra, sí que se pone de manifiesto que esas visibilidades influyen en el comportamiento del conductor. Menores distancias de visibilidad reflejan una mayor dispersión de las medidas, tanto de la separación como de la velocidad, consecuencia, probablemente, de la mayor dificultad que supone para el conductor la toma de decisión sobre la maniobra. Por el contrario, a mayor distancia de visibilidad las medidas son menos dispersas, tendiendo al valor medio en el caso de las separaciones y presentando una cierta tendencia creciente en el caso de las velocidades.

Sobre esta variable, Dozza et al. (2015) concluyó que la disminución de la visibilidad afectaba únicamente al tiempo de decisión y la planificación del adelantamiento y que tiene lugar durante la fase de aproximación. Dicha conclusión se muestra concordante con las conclusiones de la presente investigación y refleja, como se ha indicado, la mayor dificultad que encuentra el conductor a la hora de planificar el adelantamiento cuando se dispone de poca visibilidad.

6.4.6 Presencia de tráfico opuesto

La presencia de tráfico opuesto durante el adelantamiento ha tenido una incidencia significativa tanto en las separaciones como en las velocidades de forma que sin tráfico opuesto la separación es un 4,2 % mayor, mientras que con tráfico opuesto la velocidad media durante el adelantamiento es también ligeramente superior, un 3,4 %.

Sobre esta variable, Savolainen et al. (2012) concluyeron que la presencia de tráfico en sentido contrario reducía el contacto con la línea central, aspecto lógico al adelantar más próximo al ciclista para evitar el impacto contra el vehículo contrario.

Igualmente, Dozza et al. (2015) llegaron también a la conclusión de que la presencia de tráfico en sentido contrario fue el factor que más influía en la maniobra de adelantamiento, de forma

que cuando se aproximaba un vehículo, los conductores cambiaban su zona de confort, conduciendo significativamente más cerca del ciclista, no sólo al pasar junto a él, sino también cuando se aproximaban o alejaban del mismo. También observó que la presencia de tráfico opuesto no impedía que se realizasen las maniobras de adelantamiento.

Coinciden, por tanto, las conclusiones de la presente investigación con las de las referenciadas en que, ante la presencia de tráfico en sentido contrario, los vehículos tienden a adelantar ligeramente más próximos y más rápido, lo que puede tener su origen en el hecho de que el conductor adelantante tiende a apresurar su maniobra para concluirla en un menor tiempo ante la presencia del tráfico opuesto.

6.4.7 Posibilidad de adelantamiento

En esta investigación, un 10,85 % de los adelantamientos se ha producido pisando la línea continua en tramos en los que estaba prohibido el adelantamiento. La posibilidad o no de adelantamiento no se ha mostrado como una variable estadísticamente significativa a la hora de evaluar las separaciones medias durante la maniobra, situándose éstas en el entorno de la media global. Por el contrario, la velocidad sí que se ha visto influenciada por la posibilidad o no de adelantamiento, siendo significativamente mayor, un 9,3 %, cuando está permitido el adelantamiento, poniendo de manifiesto una mayor moderación de los conductores cuando no está permitido.

Respecto al total de vehículos que han atravesado la línea continua para adelantar tipo de vehículos, los mayores porcentajes se corresponden con vehículos ligeros (57,74 %) y todoterrenos y furgonetas pequeñas (21,43 %).

Chapman y Noyce (2012) llegaron a conclusiones similares al reflejarse en sus investigaciones que los conductores intentaban conseguir una mayor separación aun a costa de sobrepasar la línea continua central, incluso cuando las condiciones no eran las más seguras para hacerlo. En este sentido, comprobó que los vehículos que más sobrepasaban la línea continua eran los turismos y todoterrenos, al igual que se ha constatado en la presente investigación.

Por su parte, Dozza et al. (2015) comprobaron que la presencia de una línea de advertencia para indicar las zonas con menor visibilidad y, por tanto, con limitaciones para el adelantamiento, se traduce en un aumento de la zona de confort sólo en la fase de aproximación, afectando únicamente al tiempo de decisión y planificación del adelantamiento, pero no a la propia ejecución de la maniobra.

Como referencia adicional, y aunque no es una circunstancia habitual en las carreteras convencionales españolas, no existiendo en ninguna de las carreteras en las que se han realizado las pruebas, Savolainen et al. (2012) concluyeron que la existencia de pintura rugosa en el eje hace que los conductores sean menos propensos a pisar la línea central.

Las conclusiones del presente estudio coinciden, por tanto, con las de las investigaciones revisadas en el sentido de que la posibilidad o no de adelantamiento no se muestra como una variable significativa a la hora de evaluar las separaciones medias durante la maniobra, situándose éstas en el entorno de la media global. Ahora bien, la velocidad sí que se ha visto

influenciada por la posibilidad o no de adelantamiento, siendo significativamente mayor cuando está permitido el adelantamiento, poniendo de manifiesto una mayor moderación de los conductores cuando no está permitido. Respecto al comportamiento por tipos de vehículos, turismos, todoterrenos y furgonetas pequeñas se muestran como los vehículos más propicios para adelantar en estas circunstancias.

6.4.8 Ocupación del carril contrario

En casi una cuarta parte de los adelantamientos registrados, un 23,55 % concretamente, se ha producido ocupación del carril contrario estando vinculado el mayor porcentaje de vehículos ocupando el carril contrario, en general, al menor semiancho total, carril más arcén, disponible.

La ocupación o no del carril contrario ha generado una diferencia significativa entre las separaciones netas medias registradas y que en valores absolutos ha llegado casi a los 25 cm (1,85 m con ocupación y 1,61 sin ocupación), condicionando de manera significativa la maniobra independientemente de las categorías de vehículos. A su vez, casi un 50% de los vehículos que ocuparon el carril contrario lo hicieron en tramos en los que estaba prohibido el adelantamiento, siendo la separación media de 1,84 m y no existiendo diferencia sensible en los casos con prohibición y sin prohibición y tampoco en función del tipo de vehículo.

Por su parte, la velocidad media en los casos en los que se ocupó el carril contrario fue de 77,1 km/h, mientras que en los casos en los que no se produjo ocupación, la velocidad media fue ligeramente menor, concretamente 74,7 km/h. Esta diferencia se mostró como significativa. La explicación a esta circunstancia podría encontrarse en el hecho de que el conductor que adelanta sin ocupar el carril contrario lo hace más próximo al ciclista por lo que es posible que disminuya la velocidad para disminuir el riesgo durante el adelantamiento.

Por otra parte, cuando la ocupación del carril contrario ha coincidido con el cruce con un vehículo en sentido opuesto o éste se encontraba a menos de 2 s del final de la maniobra, la separación media fue de 1,83 m, ligeramente por debajo de la separación media cuando se ocupa el carril contrario (1,85 m), y la velocidad media se situó en los 77 km/h, similar a la media obtenida en esta circunstancia. Como puede apreciarse, la ocupación del carril contrario no ha implicado una menor separación o una reducción de la velocidad aun estando presente un vehículo en sentido contrario en el ámbito de la maniobra.

También se ha comprobado que la tendencia a ocupar el carril contrario cuando existe tráfico en sentido contrario crece conforme aumenta el tiempo de cruce de forma que, a partir de los 10 s la presencia del vehículo contrario deja de condicionar sensiblemente la decisión de ocupar o no el carril contrario durante la maniobra de adelantamiento.

Igualmente, los tiempos de ocupación del carril contrario se han situado, en general, entre los 2 y los 4 s, con un valor del percentil 85 de 5 s, disminuyendo, en general, para semianchos menores de plataforma. Considerando los adelantamientos en los que, ocupándose el carril contrario, el tiempo de ocupación ha sido igual o inferior a esos 5 s, la separación neta media durante el adelantamiento se sitúa en 1,82 m, mientras que la velocidad media en estos casos se eleva hasta los 78,4 km/h. La longitud de ocupación del carril contrario ha oscilado entre los 35 y los 85 m, situándose el percentil 85 en 105 m.

Sobre las investigaciones revisadas, Harkey y Stewart (1997) llegaron a la conclusión de que los conductores eran mucho menos propensos a invadir el carril adyacente al adelantar a un ciclista en carreteras con arcenes pavimentados o carriles para bicicletas.

Hunter et al. (2005), por su parte, llegaron a la conclusión de que la conversión de una carretera de plataforma compartida a carretera con carriles de circulación de 11 pies y franja reservada para ciclistas de 3 pies disminuyó la invasión del carril contrario.

Walker et al. (2006) determinaron que el tiempo de adelantamiento fue de unos 4 s en camiones y autobuses y entre 0,5 s y 1 s para coches, aunque no detallan ocupaciones del carril contrario. Estos tiempos se muestran ligeramente inferiores a los detectados en la presente investigación.

Para Chapman y Noyce (2012) los conductores eran mucho más propensos a dar a los ciclistas más espacio del requerido, a riesgo de sobrepasar la línea central, incluso cuando las condiciones no eran las más seguras para hacerlo. Igualmente, los carriles bici o arcenes pavimentados afectaban directamente a la probabilidad de que un conductor cruzase la línea central, siendo mayor la posibilidad de invasión del carril contrario en carreteras sin este tipo de infraestructura.

Finalmente, Bella y Silvestri (2017), aunque en su estudio mediante simulador ponen de manifiesto que en las curvas a izquierda se registraron las mayores separaciones laterales debido a la tendencia del conductor a alejarse del ciclista y cortar la curva, generando un desplazamiento excesivo hacia el carril opuesto y a alta velocidad, no especifican el grado de ocupación del carril contrario observado. No obstante, del análisis de sus resultados, tomando la separación media del centro del vehículo modelizado al eje del trazado y restándole su semiancho y la desviación estándar, sí que se deduce la ocupación del carril contrario en curvas a izquierda, no en el resto de alineaciones.

Como puede observarse, las conclusiones obtenidas en las investigaciones revisadas no son cuantitativamente comparables con las obtenidas en la presente investigación. No obstante, de gran parte de ellas se deduce que la existencia de plataformas con carriles y arcenes claramente delimitados disminuye la probabilidad de ocupación del carril contrario.

6.4.9 Accidentalidad

Como complemento a la toma in situ de datos, se ha realizado el análisis de la accidentalidad tanto en las carreteras en las que se han realizado las pruebas como en otras carreteras convencionales de contraste en la que también se ha detectado accidentalidad de ciclistas.

El mayor número de accidentes se ha producido en intersecciones, accesos y glorietas, con un 36 % de los accidentes registrados. Le siguen, sorprendentemente, los accidentes producidos por caídas de ciclistas bien solos o bien por tropiezo con otros ciclistas, con un 33 % de los accidentes y, a continuación, en tercer lugar, los accidentes durante maniobras de adelantamiento con un 15 %. Finalmente, el tropiezo con obstáculos, un 10 %, y los choques frontales, con un 5 %, cierran las estadísticas.

Esta casuística coincide con la detectada por Dozza y Wermeke (2014), quienes también detectaron la importante incidencia de los accidentes originados sólo por ciclistas y los

producidos como consecuencia de choques con vehículos en intersecciones. No obstante, contrasta con las conclusiones de Parkin et al. (2006) que en su modelo de percepción de riesgo determinaron que la presencia de rotondas y cruces no tenía, en general, un efecto significativo en el riesgo percibido o en la aceptación de los ciclistas.

6.5 Efectos aerodinámicos y exposición al riesgo

Partiendo de los parámetros como la separación lateral durante el adelantamiento, la velocidad durante la maniobra y el tipo y tamaño del vehículo adelantante durante el mismo, en la investigación se ha analizado la repercusión que puede tener la combinación de estos factores en la percepción de riesgo percibido por el ciclista y recogida en las observaciones transmitidas por el propio ciclista durante las pruebas. Este análisis ha requerido la evaluación de las fuerzas soportadas por el ciclista como consecuencia de los adelantamientos y, a continuación, la determinación de la exposición al riesgo en función tanto del tráfico de vehículos como de ciclistas. En ninguna de las investigaciones revisadas se ha abordado este análisis.

Respecto a la evaluación de fuerzas, en la instrumentación implementada no se incluyó ningún dispositivo que permitiese su medición in situ durante el adelantamiento. Tampoco en ninguna de las bicicletas instrumentadas utilizadas en las investigaciones revisadas se ha incluido. Las únicas referencias a fuerzas durante la maniobra de adelantamiento se corresponden con la correlación entre la velocidad de adelantamiento de camiones y la fuerza aerodinámica generada sobre un ciclista en función de la separación sobre éste aportada por el USDOT FHWA (1977), cuyo origen no se refleja, y en la que establece en 16,5 N la máxima fuerza admisible, junto con la dependencia de las fuerzas generadas sobre el vehículo adelantado de los coeficientes aerodinámicos propuestas por Kato et al. (1981) y Noger et al. (2005) a partir de modelos a escala.

Ante la ausencia de experiencias adicionales, se ha establecido un nuevo modelo analítico que ha permitido constatar la sensible correlación entre la expresión que rige la linealidad establecida por las recomendaciones de la FHWA con la linealidad de los coeficientes aerodinámicos. Dicho modelo ha permitido establecer una formulación paramétrica, función de la separación y la anchura del vehículo adelantante, para estimar las fuerzas a las que está sometido un ciclista cuando es adelantado. Esta formulación paramétrica permite la extensión de su uso a otros vehículos diferentes a los pesados y no requiere el uso de velocidades relativas e incorpora en forma de constante otros parámetros como la densidad del aire.

Igualmente, de dicha formulación se concluye que los efectos sobre el ciclista desaparecerían para separaciones superiores a 2,24 m en el caso de vehículos ligeros, de 2,64 m en el caso de furgonetas grandes y camionetas y de 3,30 m en el caso de camiones.

La aplicación de la formulación propuesta a cada uno de los adelantamientos ha puesto de manifiesto que el efecto más desfavorable va asociado a los vehículos de mayor tamaño, siendo significativa la diferencia en función del tipo de vehículo. Igualmente, analizando los adelantamientos en los que se supera la referencia admisible de 16,5 N, es especialmente significativa la incidencia que tienen las furgonetas grandes y camionetas sobre el ciclista.

Partiendo de esta metodología se ha profundizado también en el análisis de la exposición al riesgo del ciclista, aspecto que no se ha abordado en ninguna de las investigaciones revisadas. A través de los percentiles de fuerzas soportados, fundamentalmente el percentil 85, F_{85} , se ha categorizado el nivel de riesgo asociado a una carretera, y se ha establecido también una correlación entre ese valor de la F_{85} previsible para una carretera y dos de los principales parámetros vinculados al diseño y a la circulación, concretamente, la sección transversal a partir del ancho de la semiplataforma y la categoría de tráfico a través del porcentaje de vehículos pesados.

La asociación de los niveles de fuerzas a los volúmenes de tráfico de vehículos y ciclistas ha permitido establecer un modelo para categorizar los niveles de exposición al riesgo basado en el parámetro de referencia FT, frecuencia de fuerza acumulada de exposición previsible en N/min. Dicho parámetro ha servido, finalmente, para establecer una previsión del número de accidentes por adelantamiento a ciclistas en una carretera convencional previsible para un periodo de 10 años.

Todos estos desarrollos y propuestas son novedosas, al no existir investigaciones que hayan avanzado en esta línea, y proporcionan nuevas herramientas para evaluar la peligrosidad de carreteras convencionales, tanto existentes como de nueva implantación, en relación con la peligrosidad asociada a las maniobras de adelantamiento.

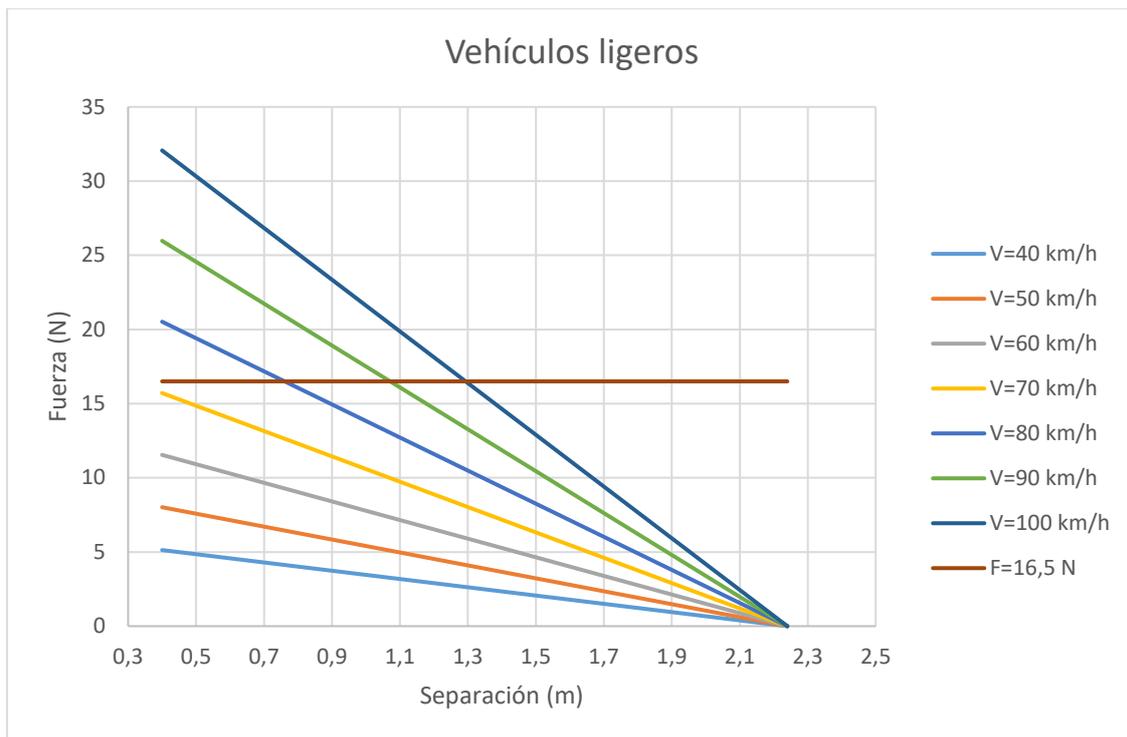
7 Recomendaciones para el diseño y explotación de carreteras convencionales

El objetivo último de la presente investigación se centra en la determinación de parámetros de riesgo asociados a los factores analizados y que afectan a la maniobra de adelantamiento y, a partir de ellos, fijar criterios vinculados tanto al diseño como a la explotación de carreteras convencionales que permitan mejorar la seguridad de circulación de los ciclistas.

Se procede a detallar las principales recomendaciones que han podido extraerse a partir de la información recopilada y el análisis realizado.

7.1 Velocidad máxima

La aplicación de la formulación establecida para la estimación de las fuerzas a las que está sometido un ciclista cuando es adelantado por un vehículo (Figura 182) permite realizar una primera acotación de las velocidades de adelantamiento que conllevan fuerzas sobre el ciclista superiores al límite de 16,5 N establecido como referencia.



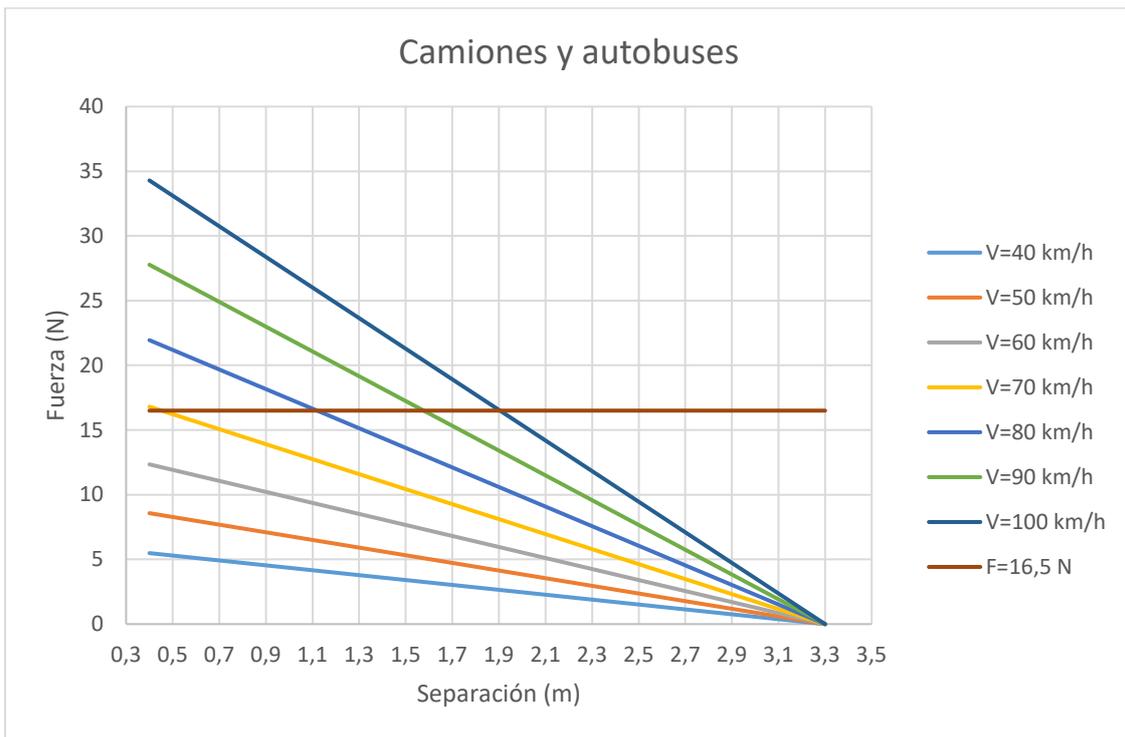
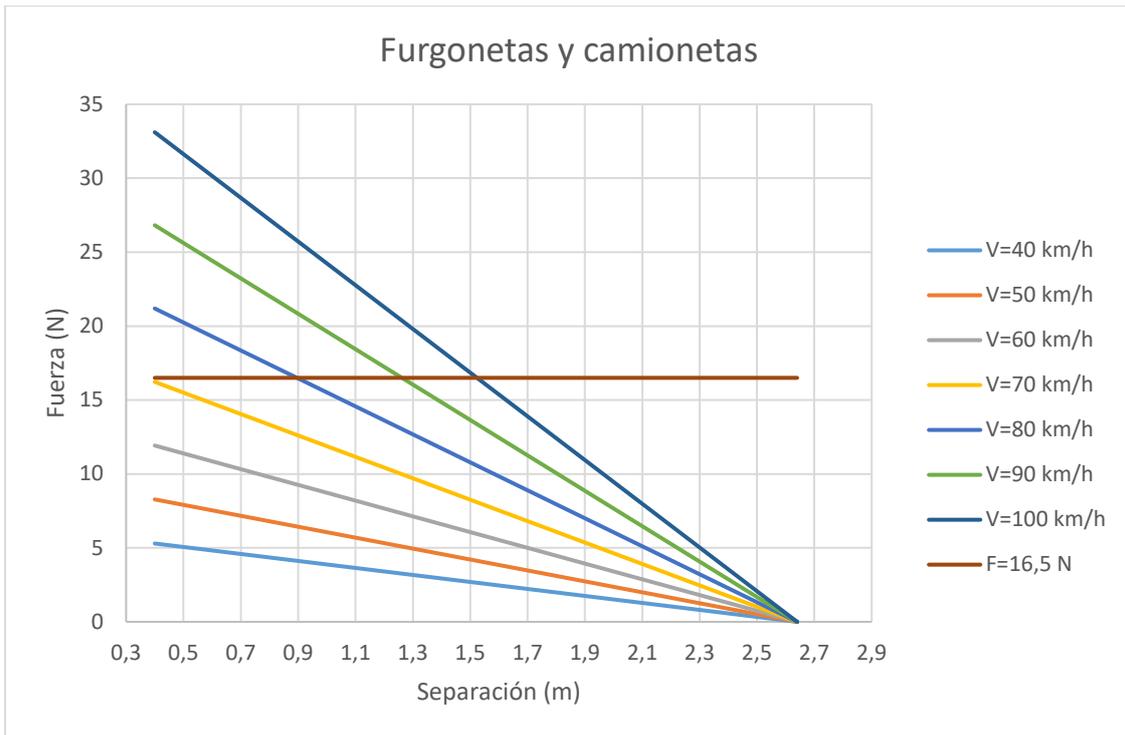


Figura 182. Fuerza (N) sobre el ciclista en función de la separación (m) durante el adelantamiento según tipo de vehículo.

Para velocidades inferiores a 70 km/h, las separaciones durante el adelantamiento que generan fuerzas sobre el ciclista superiores al límite recomendado tienen que ser inferiores a 30-40 cm para todas las categorías de vehículos. Estas separaciones tan pequeñas se sitúan, en la práctica, en el entorno del impacto directo del vehículo adelantante sobre el ciclista y por debajo de las registradas en la presente investigación. Por tanto, en circunstancias normales de circulación,

carreteras con límites de velocidad iguales o inferiores a 70 km/h no implican un riesgo a nivel aerodinámico para los ciclistas en base a los resultados obtenidos en la presente investigación.

Por otra parte, tal y como se desprende de los análisis realizados, todos los adelantamientos en los que se ha superado la fuerza admisible sobre el ciclista se han producido durante maniobras en las que la velocidad del vehículo adelantante superaba los 80 km/h (Figura 183).

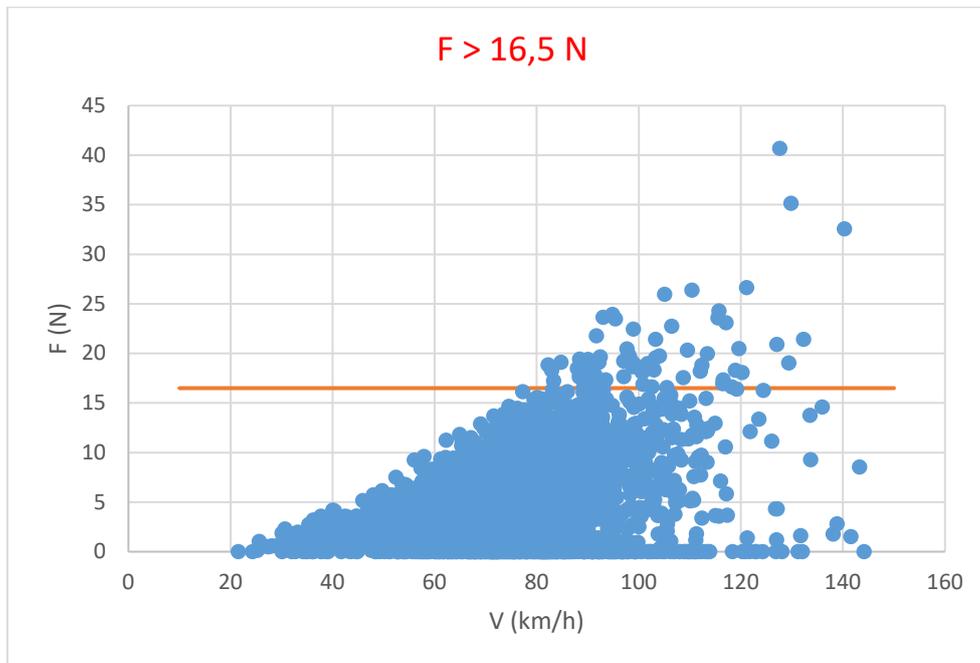


Figura 183. Distribución de fuerzas en función de la velocidad durante el adelantamiento.

Partiendo de esta circunstancia, en las carreteras con presencia de ciclistas debe limitarse la velocidad máxima a 80 km/h. Cabe señalar, a efectos de restricción de velocidades, que en el caso de la legislación española los límites de velocidad para autobuses son superiores a los establecidos para camiones articulados y furgonetas. Sin embargo, a efectos aerodinámicos su incidencia sobre el ciclista es similar al disponer de anchuras similares, por lo que las limitaciones de velocidad a ambos tipos de vehículos deben ser similares en este caso.

No obstante, para el caso de carreteras existentes, con afluencia importante de ciclistas, en las que se contemplen limitaciones de velocidades mayores, debe valorarse la adopción de medidas adicionales en relación con otros factores. Concretamente, de los resultados de esta investigación se desprende una clara incidencia en los niveles de fuerzas previsible sobre el ciclista de otros parámetros como la anchura de la plataforma o el tráfico a través del volumen de tráfico pesado. En base a ellos, no deben aceptarse niveles de la F_{85} superiores a 13,2 N. La relación entre ancho de semiplataforma y máximo porcentaje de vehículos pesados compatible con esa limitación se recoge en la Tabla 66.

En el caso de que no puedan garantizarse volúmenes de tráfico pesado inferiores a los valores propuestos debe valorarse la posibilidad de restringir su circulación en los periodos de mayor

afluencia ciclista, fines de semana, por ejemplo, o, alternativamente, prohibir la circulación de ciclistas y plantear la construcción de carriles bici específicos. La prohibición puede ser absoluta o alternativa, prohibiéndose la circulación durante determinados periodos de la semana o del año de uno u otro tipo de vehículo en función de la mayor demanda del otro.

Ancho semiplataforma (m)	% vehículos pesados
2,50	9
3,00	11
3,50	14
4,00	16
4,50	18
5,00	20
5,50	22
6,00	24

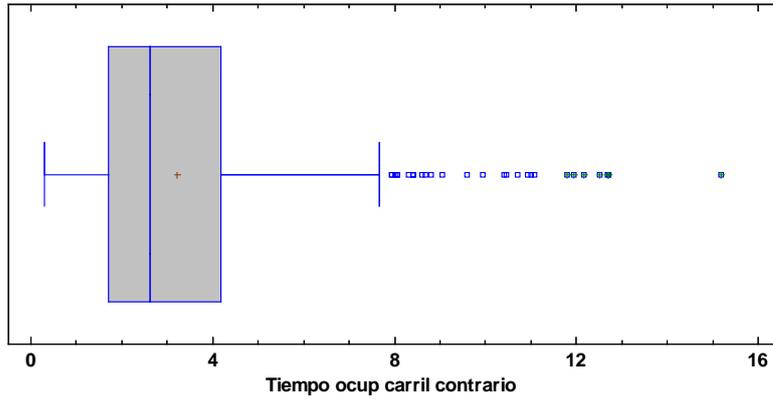
Tabla 66. Relación entre ancho de semiplataforma y máximo % de vehículos pesados para $F_{85} < 13,2 N$.

7.2 Visibilidad mínima

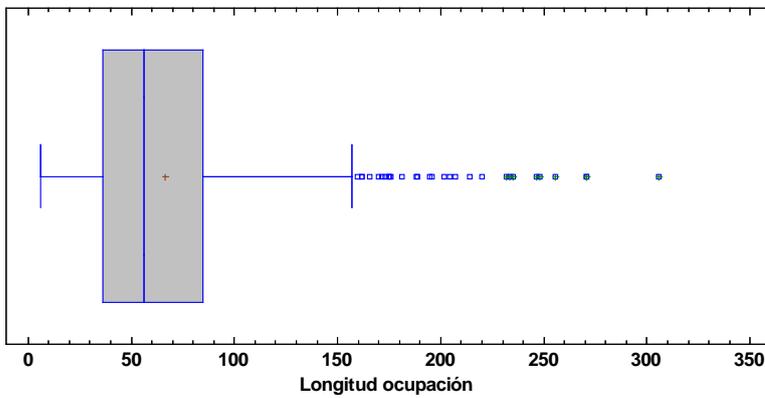
En las carretas con presencia de ciclistas debe garantizarse a los conductores la visibilidad necesaria para poder realizar la maniobra de adelantamiento con seguridad. El desplazamiento lateral realizado durante la maniobra por el vehículo con el fin de guardar la separación que garantice la estabilidad del ciclista, puede dar lugar a la ocupación adicional del carril contrario. En este caso, nos encontramos ante el riesgo adicional de una posible colisión con un vehículo en sentido contrario en caso de existir.

De la información recopilada en esta investigación se deduce que en casi una cuarta parte de los adelantamientos se produce la ocupación del carril contrario durante la maniobra. Esta situación de riesgo es asumida por los conductores adelantantes incluso en aquellas circunstancias en las que está prohibido el adelantamiento, situación admitida por la legislación vigente.

El adelantamiento a un ciclista es una maniobra rápida, en comparación con el adelantamiento entre dos vehículos, como consecuencia de la importante diferencia de velocidades relativas entre éste y el vehículo adelantante. Esta circunstancia se pone de manifiesto en los resultados obtenidos en la investigación (Figura 184), en los que el tiempo de ocupación del carril contrario se ha situado entre 1,70 s (1^{er} cuartil) y 4,17 s (3^{er} cuartil), con longitudes de ocupación entre los 36,3 m y 84,4 m. El tiempo correspondiente al percentil 85 ha sido de 5,07 s y la longitud de ocupación de 105,4 m.



Percentil (s)	
1,0%	0,60
5,0%	0,90
10,0%	1,10
25,0%	1,70
50,0%	2,63
75,0%	4,17
85,0%	5,07
90,0%	5,95
95,0%	6,95
99,0%	11,07



Percentil (m)	
1,0%	12,7
5,0%	19,6
10,0%	24,0
25,0%	36,3
50,0%	56,2
75,0%	84,8
85,0%	105,4
90,0%	119,9
95,0%	149,9
99,0%	233,3

Figura 184. Tiempo (s) y longitud (m) de ocupación del carril contrario.

En la Figura 185 se observan también los histogramas con las frecuencias correspondientes a los tiempos y longitudes de ocupación registrados durante las pruebas.

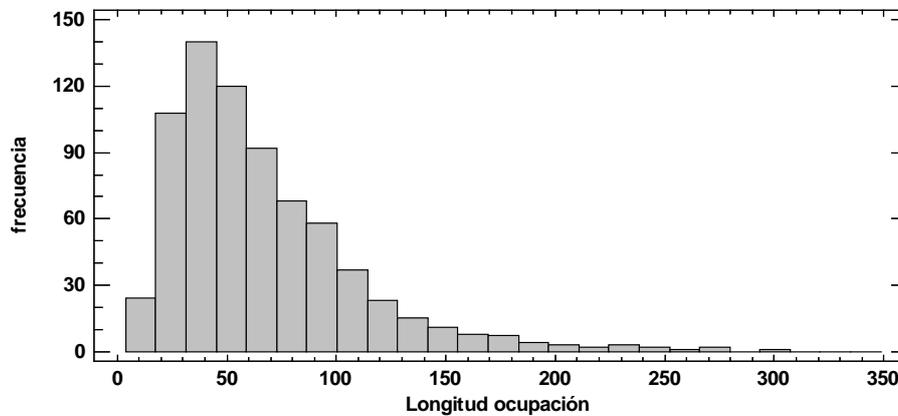
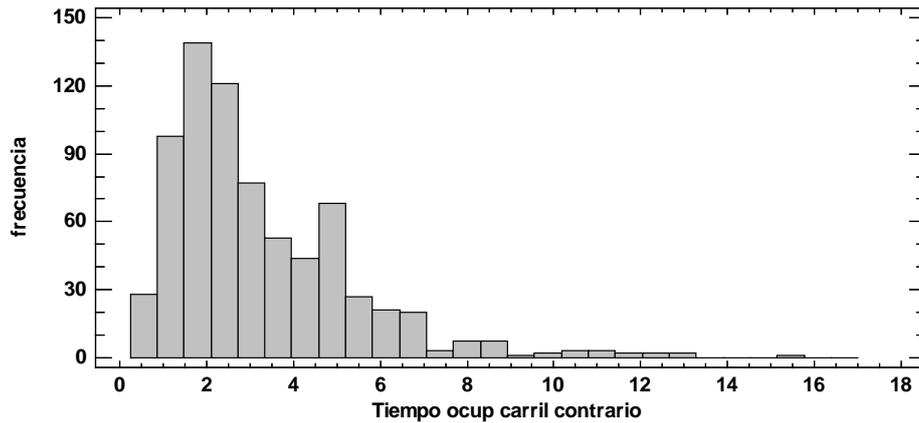


Figura 185. Histogramas de tiempos (s) y longitudes (m) de ocupación del carril contrario.

Por otra parte, de los resultados de la investigación se deduce también que la presencia de un vehículo en sentido opuesto (Figura 186) deja de condicionar la decisión de ocupar el carril contrario a partir de los 10 s de tiempo de cruce con ese vehículo antes o después de la maniobra de adelantamiento. Las velocidades registradas ponen de manifiesto una disminución en la velocidad del vehículo respecto a la de operación para la realización de las maniobras de adelantamiento, pero en el caso de presencia de tráfico opuesto los valores de las velocidades son ligeramente superiores a la media, lo que pone de manifiesto una tendencia de los conductores a apresurar la maniobra en lugar de a abortarla.

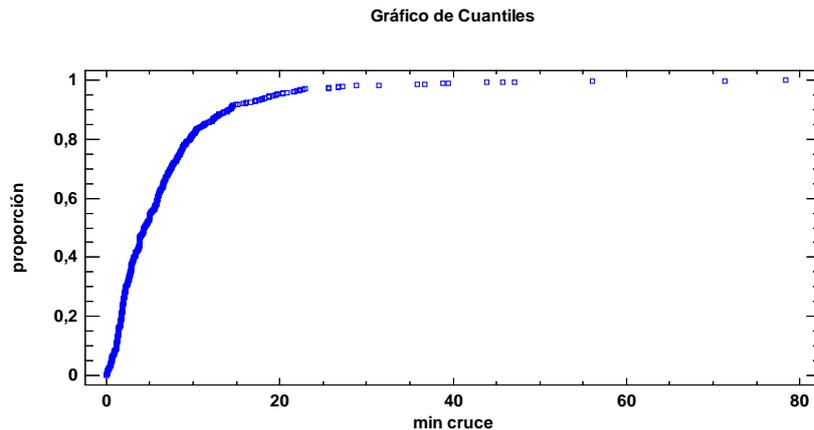


Figura 186. Mínimo tiempo de cruce con un vehículo opuesto antes o después del adelantamiento.

La actual Instrucción de Trazado 3.1-IC ha introducido el concepto de distancia de decisión como la distancia medida a lo largo de la trayectoria que realiza un vehículo para que su conductor, en un entorno viario que puede estar visualmente congestionado, perciba la información proporcionada por la señalización y la existencia de una situación inesperada o difícil de percibir, las reconozca, valore el riesgo que representan, adopte una velocidad y una trayectoria adecuadas y lleve a cabo con seguridad y eficiencia la maniobra necesaria.

Esta distancia de decisión se corresponde con la distancia recorrida en 10 s a la velocidad de proyecto del tramo considerado, y la Instrucción recoge su incorporación, principalmente, a nivel de visibilidad en el caso de la señalización de salidas y de la incorporación de vehículos en nudos.

Puede apreciarse la similitud existente en el concepto y en el tiempo vinculado a ese tiempo de decisión, 10 s, por lo que se considera necesario que en los proyectos de nuevas carreteras convencionales en las que se prevea la afluencia de ciclistas se extienda este criterio de visibilidad a lo largo de todo el trazado y no sólo al entorno específico de nudos en el que se centra la Instrucción.

No obstante, en carreteras existentes, en las que el trazado ya está implantado, debe garantizarse una visibilidad mínima que permita al conductor del vehículo realizar una maniobra de mayor riesgo con necesidad de ocupación del carril contrario en caso de ser necesario. Esta visibilidad mínima debe ser compatible con la realización de la maniobra de una forma cómoda por parte del conductor adelantante. En la Figura 187 se recoge la visibilidad disponible por el vehículo durante la aproximación y adelantamiento.

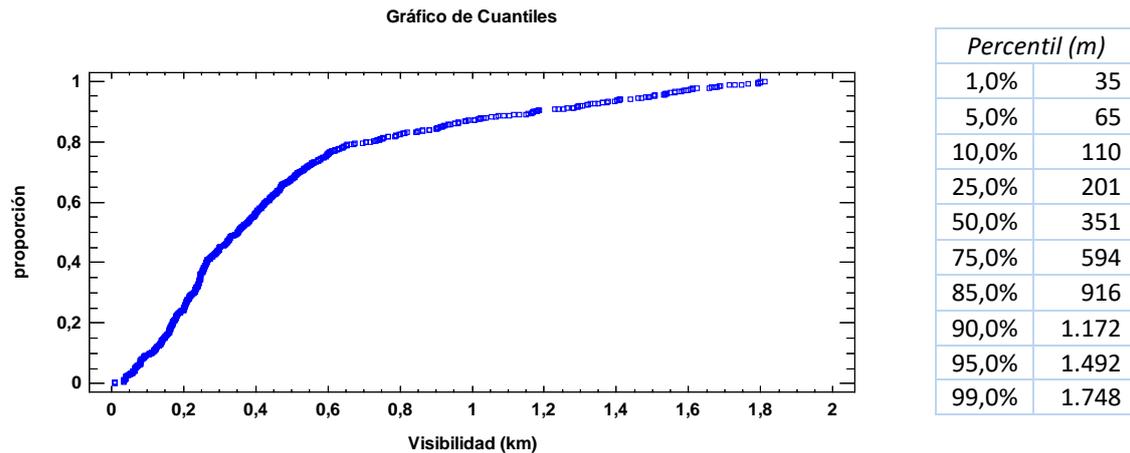


Figura 187. Ocupación del carril contrario en función de la visibilidad.

Se aprecia cómo los conductores prácticamente no ocupan el carril contrario para visibilidades inferiores a 35 m y sólo un 10 % lo hace con visibilidades inferiores a 110 m, lo que pone de manifiesto que para visibilidades inferiores el conductor no se siente cómodo invadiendo el carril contrario. Estas visibilidades coinciden sensiblemente con las longitudes de ocupación del carril contrario registradas también en la investigación, lo que refleja una clara correlación entre la visibilidad mínima que necesita el conductor y la longitud de ocupación del carril contrario que estima necesaria.

Por tanto, y de acuerdo con los resultados anteriormente citados, la distancia de visibilidad disponible debe situarse entre un mínimo de 40 m y una deseable de 105 m. En los tramos de carreteras existentes en las que no se pueda garantizar una visibilidad mínima de 40 m debe plantearse la prohibición de adelantar a ciclistas.

En este sentido, la Instrucción de Trazado 3.1-IC, establece que la visibilidad de parada deberá ser superior a la distancia de parada calculada con la velocidad de proyecto del correspondiente tramo. Como puede apreciarse en la Figura 188, esa visibilidad exigida por la normativa es inferior a 105 m para velocidades hasta 70 km/h e, incluso, para velocidad 80 km/h en función de la pendiente de la carretera. Igualmente, una visibilidad de 40 m se enmarca dentro de la visibilidad de parada requerida para una velocidad de 40 km/h.

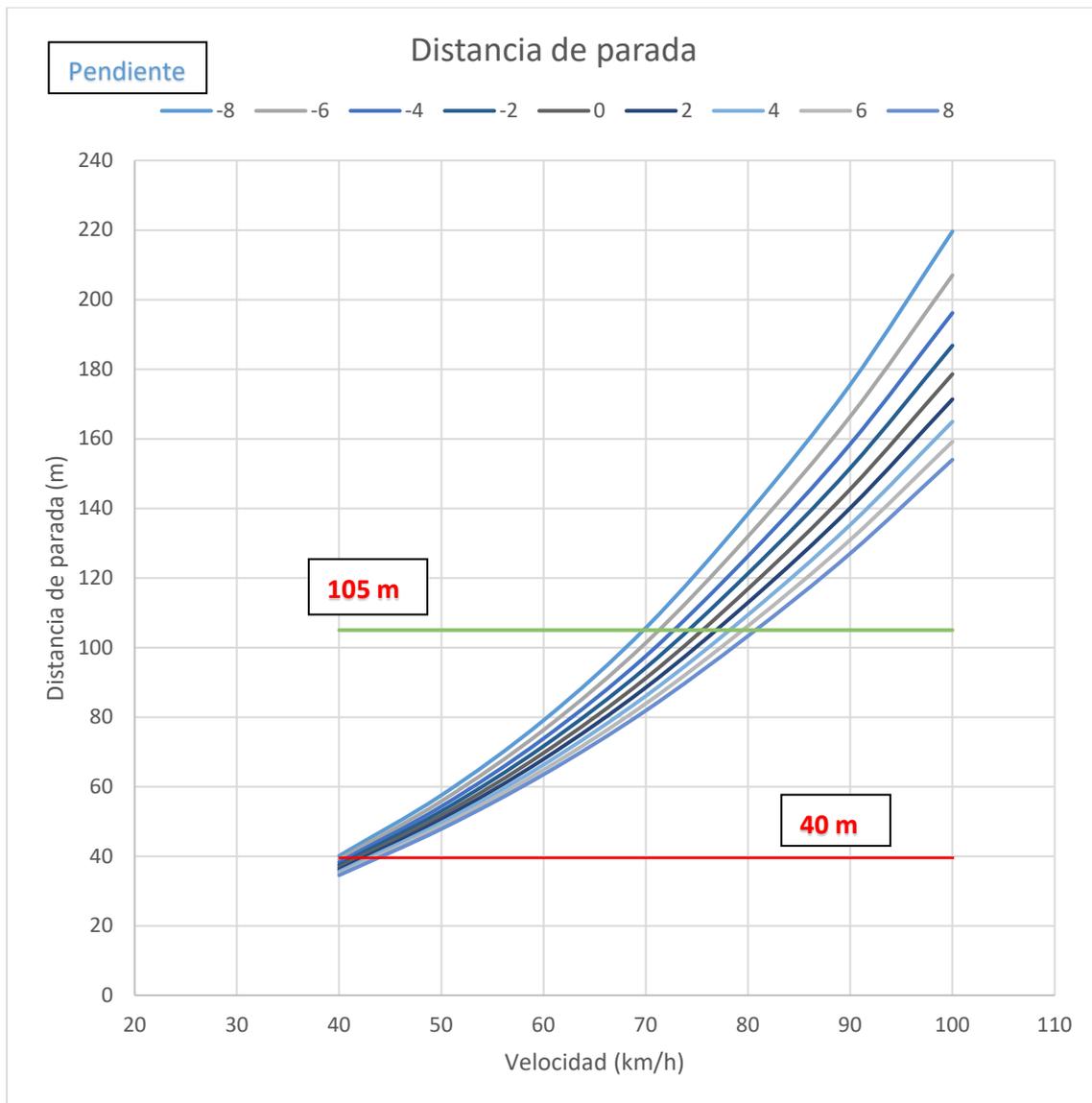


Figura 188. Distancias de parada en función de la velocidad.

7.3 Sección transversal

Respecto a la sección transversal, de la presente investigación se deduce, como ya se ha indicado, que para velocidades iguales o inferiores a 70 km/h las separaciones durante el adelantamiento no se manifiestan como críticas a efectos aerodinámicos salvo para valores inferiores a los 40 cm, independientemente del tipo de vehículo. No obstante, estas separaciones son reducidas y, a efectos prácticos, se enmarcan dentro del margen de riesgo de impacto directo. Esta circunstancia se ve agravada por el hecho de que las separaciones netas entre extremo del retrovisor y el ciclista son inferiores a las seminetas (entre superficie lateral de vehículo y ciclista) consideradas para la estimación de fuerzas, salvo para camiones y autobuses.

Con el fin de minimizar este riesgo de impacto deben disponerse secciones transversales en las que el ciclista tenga garantizado un mínimo espacio de seguridad. Tal y como se ha contrastado tanto en ésta como en otras investigaciones revisadas, la existencia de carriles y arcenes

claramente delimitados ejerce un efecto de guiado y acotación de espacios, de forma que los vehículos tienden a desplazarse menos lateralmente o, al menos, de una forma más controlada. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que la zona de seguridad mínima para la circulación de un ciclista, por sus propias dimensiones físicas, es de 1 m.

Por tanto, aunque la limitación de velocidad se sitúe por debajo de la indicada, en tramos con circulación de ciclistas la sección transversal deberá disponer de arcén delimitado con un ancho mínimo de 1 m. Arcenes inferiores a esa dimensión obligan al ciclista, en la práctica, a circular total o parcialmente por el carril destinado a la circulación de vehículos con el riesgo adicional de atropello derivado.

Para velocidades superiores a 80 km/h cobran mayor protagonismo las fuerzas aerodinámicas, especialmente vinculadas al ancho de la sección transversal y al porcentaje de vehículos pesados. Concretamente, en el caso de la sección transversal, de los resultados obtenidos en la presente investigación se puede afirmar que secciones transversales amplias con arcenes amplios generan separaciones más elevadas al distanciarse los carriles de la zona de arcén por la que circula el ciclista, disminuyendo así las fuerzas transmitidas. Semiplataformas de 4,50 m, con arcenes pavimentados de al menos 1 m garantizan el mantenimiento de las fuerzas soportadas por el ciclista por debajo de los límites recomendados para porcentajes de tráfico pesado por debajo del 15 %. Para porcentajes superiores sólo son recomendables semiplataformas de, al menos, 5 m de anchura e, incluso, de 6 m para porcentajes superiores al 20 %. De no disponerse estas plataformas en carreteras existentes debe valorarse la implantación de otras infraestructuras específicas para ciclistas o recurrir a alternativas de restricción de tráfico.

Por otro lado, la posibilidad de colorear el arcén para uso de ciclistas debe tomarse con precaución. Los datos obtenidos en las carreteras con esta singularidad ponen de manifiesto que el coloreado del arcén hace que los conductores tiendan a no separarse tanto del ciclista durante el adelantamiento, como si se tratase de un carril segregado, aumentando la peligrosidad durante el adelantamiento. Esta sensación fue puesta de manifiesto por el propio ciclista durante las pruebas. Igualmente, respecto a la velocidad media, parece que la presencia del arcén coloreado no se traduce en una especial moderación en la misma. Estas mismas conclusiones se han puesto de manifiesto en otras investigaciones revisadas.

De esta forma, el arcén coloreado no contribuye, aparentemente, a disminuir sensiblemente la velocidad durante los adelantamientos, pero se traduce también en menores separaciones durante el mismo, derivadas de que los vehículos parecen mostrar tendencia a mantener su trazado al interpretar la zona coloreada como una zona “protegida”.

Desde el punto de vista estricto de la legislación vigente, es evidente que mayores anchuras de plataforma reducen el porcentaje de vehículos cuya separación se sitúa por debajo del mínimo legal establecido en 1,50 m tal y como se ha podido constatar en la investigación.

Plataformas por debajo de los 10 m, con carriles inferiores a 3,50 m y arcenes menores de 1,50 m, conllevan probabilidades de sufrir adelantamientos por debajo de esa separación que pueden llegar a superar el 50 %. Plataformas de 10 m (carriles de 3,50 m y arcenes de 1,50 m) reducen esa probabilidad al 25 %. Plataformas mayores reducen esa probabilidad a valores en

el entorno del 15 %. A la vista de ello, se considera que en el proyecto de carreteras nuevas en las que se prevea la afluencia de ciclistas deben adoptarse secciones tipo 7/10 o 7/12 con limitación de velocidad máxima a 80 km/h.

En ningún caso deben proyectarse carreteras con semiplataformas inferiores a 4,50 m y arcenes inferiores a 1 m en itinerarios con afluencia de ciclistas dado que, como se ha constatado en la investigación, son las que menos probabilidad muestran para garantizar la separación mínima legal. Igualmente, no debe aplicarse la posibilidad contemplada en la Instrucción de Trazado 3.1-IC para carreteras en terreno muy accidentado, o con baja intensidad de tráfico (IMD < 3.000) de reducir de forma justificada la dimensión del arcén en 0,50 m como máximo.

Cabe señalar que estas recomendaciones son de aplicación a carreteras convencionales, ámbito en el que se ha desarrollado la presente investigación. No cabe, por tanto, su extrapolación directa al caso de autovías. Por un lado, las velocidades máximas desarrolladas por todos los tipos de vehículos son mayores en autovías que en carreteras convencionales, siendo también mayor la variabilidad de velocidades en el caso de autovías que en las carreteras convencionales.

Por otro lado, aunque se tome como referencia para la semiplataforma los anchos del carril derecho y el arcén exterior, debe tenerse en cuenta que el porcentaje de vehículos pesados efectivos que discurren por ese carril derecho más próximo al ciclista es mayor que el teórico aportado por los registros de aforos dado que una parte de los vehículos ligeros no circula por ese carril al transitar por el resto de los carriles interiores.

Como ejemplo cabe tomar el de una calzada de autovía de dos carriles, con carriles de 3,50 m y arcén exterior de 1,50 m. Esto implica una semiplataforma equivalente, carril y arcén exterior, de 5 m. Suponiendo una IMD de 10.000 veh/día y un porcentaje de vehículos pesados del 15 %, puede realizarse un análisis de sensibilidad del valor de la F_{85} previsible frente al porcentaje de vehículos ligeros que circulan por el carril izquierdo en lugar de hacerlo por el derecho más próximo al ciclista. Se van a tomar para ello valores del 10 %, 20 %, 30 % y 40 %. Igualmente se van a considerar velocidades de referencia de 100 km/h, 110 km/h y 120 km/h.

Para la estimación de la F_{85} se ha empleado la fórmula alternativa referenciada en Apartado 5.8.4.1 y que obedece a la expresión:

$$F_{85} = 11,88 + 0,02 * V_{85 \text{ Libre}} + 0,30 * \%P - 1,40 * \text{Semiplat}$$

Esta formulación permite incorporar de manera indicativa la incidencia de la velocidad a pesar de que, como ya se ha comentado en el apartado citado, esta variable no se ha mostrado estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95% para el caso de las carreteras convencionales.

Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 67 y reflejan una clara incidencia tanto de la velocidad como del porcentaje efectivo de vehículos pesados en el valor de la F_{85} estimada, de forma que una sección transversal que en principio conllevaría un valor inferior al límite de 13,2 N propuesto, puede dar lugar a valores por encima de este límite al incrementarse ambos parámetros.

Porcentaje vehículos ligeros en carril izquierdo					
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %
Porcentaje vehículos pesados efectivo					
Velocidad	15,0 %	16,4 %	18,1 %	20,1 %	22,7 %
100 km/h	11,3 N	11,7 N	12,2 N	12,8 N	13,6 N
110 km/h	11,5 N	11,9 N	12,4 N	13,0 N	13,8 N
120 km/h	11,7 N	12,1 N	12,6 N	13,2 N	14,0 N

Tabla 67. Estimación de F_{85} previsible según porcentaje efectivo de vehículos pesados.

Igualmente, a la vista de lo anterior cabe reflexionar sobre el hecho de que, en autovías, sólo valores bajos del porcentaje de vehículos pesados parecen garantizar niveles de la F_{85} por debajo de los límites aceptables para el ciclista.

Todo esto pone de manifiesto la necesidad de seguir investigando en este campo, ampliando el alcance a la incidencia de las maniobras de adelantamiento sobre los ciclistas en este tipo de vías, con mayores velocidades, intensidades de tráfico y porcentajes de vehículos pesados y buscando criterios adicionales que permitan valorar la idoneidad de este tipo de vías para la circulación de ciclistas.

7.4 Tratamiento de arcenes y bermas

A nivel de explotación y mantenimiento de las carreteras existentes es imprescindible garantizar el uso seguro por parte del ciclista de la plataforma y, especialmente, del arcén. No sólo tiene que tener las dimensiones mínimas recomendadas en el apartado anterior. Debe ser circulable en condiciones de seguridad. Del análisis de los partes de accidentes de ciclistas se deducen diversos casos de caídas por pérdidas de control como consecuencia del impacto o tropiezo con piedras, gravilla, baches, hierbas o ramas en el arcén. Es fundamental, por tanto, un mantenimiento, siega y limpieza adecuado de estas zonas con el fin de garantizar un rodar seguro para los ciclistas. Esto debe ser extensible a los bordes exteriores de carril, especialmente en carreteras con arcenes estrechos.

Por otra parte, debe procurarse también el correcto mantenimiento de las bermas colindantes, de existir, con el fin de que pueda servir como zona de escape en el caso de tener que efectuar una maniobra de escape ante un riesgo de accidente. Esta limpieza se traducirá también en una mayor visibilidad para los vehículos que accedan desde los caminos y accesos existentes en las márgenes, disminuyendo el riesgo de impacto con los ciclistas que circulan por el arcén, accidente éste bastante frecuente tal y como se refleja en los partes de accidentes revisados.

Igualmente, debe minimizarse la existencia de elementos agresivos en las márgenes que puedan generar impactos no deseables para el ciclista en caso de caída, buscándose la conformación de márgenes clementes. Estos criterios deben extenderse al diseño de las cunetas.

Por otra parte, de la visualización de los vídeos se desprende la limitación que la existencia de barrera bionda en los márgenes supone para la circulación del ciclista ya que se presenta como un obstáculo lateral respecto al que se tiene que separar para desarrollar una rodadura fluida y que, por tanto, implica una disminución del ancho efectivo real disponible. Por tanto, la concepción de las anchuras propuestas de plataformas disponibles debe detener en cuenta esta circunstancia. Por otra parte, la presencia de la propia barrera supone un elemento de riesgo ante una posible caída del ciclista sobre ella al presentarse como un elemento cortante en el plano vertical. Debe tenderse a minimizar la presencia de este elemento de contención tanto en los proyectos de nuevas infraestructuras como en las carreteras existentes con afluencia de ciclistas y sustituirse por márgenes seguros, pero menos agresivos.

7.5 Separación mínima

La aplicación de la formulación establecida para la estimación de las fuerzas aerodinámicas a las que está sometido un ciclista cuando es adelantado por un vehículo permite estimar la combinación de velocidades y separaciones durante el adelantamiento que conllevan fuerzas sobre el ciclista superiores al límite de 16,5 N establecido como referencia. Como puede apreciarse en la Figura 182, para velocidades superiores a 80 km/h y hasta 100 km/h, velocidad máxima permitida para vehículos ligeros en España en carreteras convencionales, la separación de 1,50 m establecida en la regulación española permite mantener las fuerzas aerodinámicas sobre los ciclistas por debajo de ese límite. En el caso de camiones y autobuses esta circunstancia se cumple también siempre que a ambos tipos de vehículos se les limite la velocidad máxima a 80 km/h.

Por su parte, para velocidades inferiores a 70 km/h, tal y como ya se ha indicado con anterioridad, las separaciones durante el adelantamiento que generan fuerzas sobre el ciclista superiores al límite recomendado tienen que ser inferiores a 30-40 cm para todas las categorías de vehículos, separaciones que en la práctica se sitúan en el entorno del impacto directo del vehículo adelantante sobre el ciclista y por debajo de las registradas en la presente investigación. Por tanto, en circunstancias normales de circulación, carreteras con límites de velocidad iguales o inferiores a 70 km/h no implican un riesgo a nivel aerodinámico para los ciclistas en base a los resultados obtenidos en la presente investigación. Esta circunstancia se traduce, de hecho, en la posibilidad de que para velocidades inferiores a 70 km/h, entre 40 km/h y 60 km/h por ejemplo, se pueda plantear la reducción de la separación mínima exigida en la normativa a 1 m. Esta posibilidad se muestra coincidente con el comportamiento de los propios conductores dado que, tal y como se ha contrastado en esta investigación, el 95 % de los vehículos mantiene una separación semineta superior a 1 m y a 0,90 m en el caso de separaciones netas.

7.6 Nivel de riesgo

Tanto en carreteras convencionales existentes como en el proyecto de futuras infraestructuras debe contemplarse, dentro de los análisis de seguridad vial, una evaluación del riesgo para ciclistas como consecuencia de maniobras de adelantamiento cuando se prevea que pueda existir la presencia de este tipo de usuario.

Para ello, tomando como referencia para cada carretera el valor del percentil 85 de la fuerza previsible, F_{85} , podemos categorizar el nivel de riesgo asociado a la carretera conforme a los niveles propuestos recogidos en la Tabla 68 y de forma gráfica en la Figura 189. No deben admitirse niveles de riesgo superiores al nivel 3, es decir, el valor previsible de F_{85} no debe superar los 13,2 N.

NIVEL	$F_{85}(N)$
1	6,6
2	6,6-9,9
3	9,9-13,2

Tabla 68. Niveles de riesgo en función de la F_{85} .

La estimación del valor de la F_{85} puede realizarse según la formulación:

$$F_{85} = 13,74 + 0,33 \times \%P - 1,43 \times \text{Semiplat}$$

Donde:

- F_{85} es la fuerza previsible para el percentil 85 en N.
- $\%P$ es el porcentaje de vehículos pesados en tanto por ciento.
- **Semiplat** es el ancho de la semiplataforma en m.

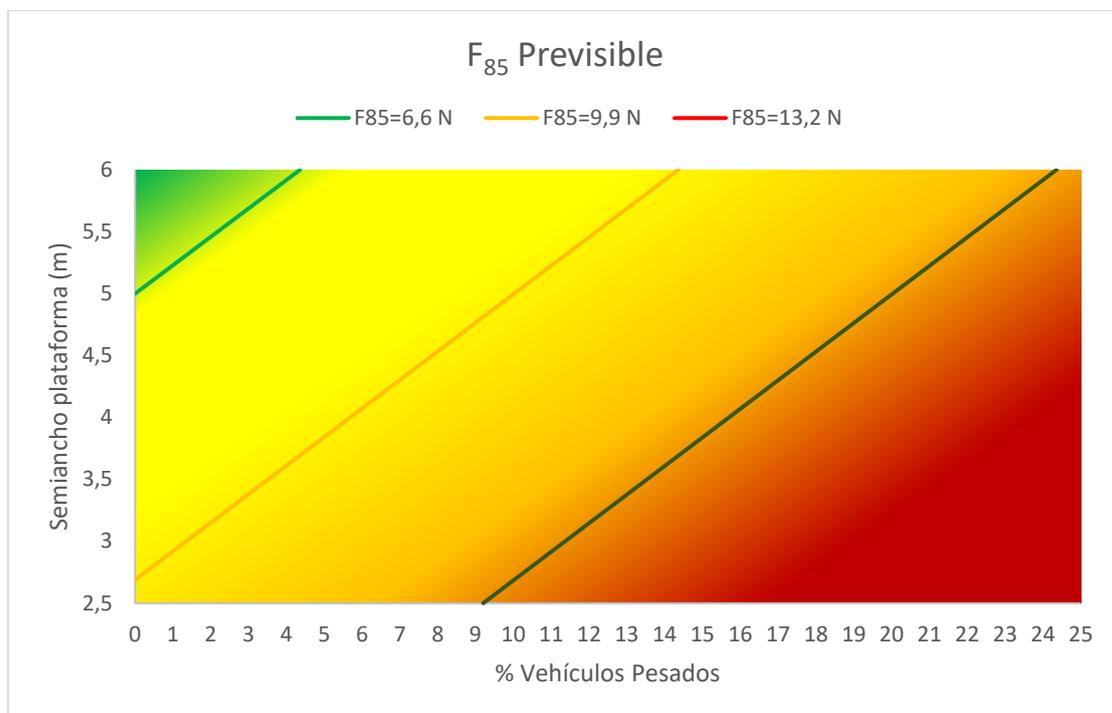


Figura 189. Niveles de riesgo.

7.7 Accidentalidad y exposición al riesgo

Se recomienda también la inclusión en los análisis de seguridad vial en carreteras convencionales, tanto existentes como de nuevo diseño, de la estimación de la accidentalidad de ciclistas por adelantamiento previsible. Para ello puede utilizarse el modelo de correlación establecido en la presente investigación. Partiendo de la fuerza lateral, F_{85} , determinando la frecuencia temporal de fuerza acumulada, FT , junto con la demanda de vehículos y ciclistas en un segmento de carretera para obtener la exposición al riesgo previsible en el mismo, se puede establecer el nivel de exposición y el número de accidentes por adelantamiento previsible en un periodo de 10 años. De esta forma, partiendo de las formulaciones propuestas para:

$$FT = -11,00 + 1,28 \times F_{85} + 0,00071 \times IMD$$

donde:

- **FT** es la frecuencia de fuerza acumulada de exposición previsible en N/min.
- **F_{85}** es el percentil 85 de la fuerza previsible para esa carretera en N.
- **IMD** es la Intensidad Media Diaria de la carretera en veh/día.

$$Exp = FT \times v \times c / 10^9$$

donde:

- **Exp** es la exposición al riesgo para el tramo o segmento de carretera en $N/min \cdot veh/año \cdot cicl/año / 10^9$.
- **FT** es la frecuencia de fuerza acumulada de exposición previsible en N/min.
- **v** es el número de vehículos año en el tramo o segmento.
- **c** es el número de ciclistas año en el tramo o segmento.

El número de accidentes por adelantamiento puede determinarse como:

$$n^{\circ} \text{ accidentes} = 0,863047 + 0,007807 \times Exp$$

En la Tabla 69 se recogen el número de accidentes previsible en función del rango de exposición.

Nº de accidentes	Rango de exposición
0	< 5
1	5 - 85
2	85 - 170
3	170 - 260
4	245 - 370
5	310 - 480
6	> 380

Tabla 69. Accidentes previsible para un periodo de 10 años en base al rango de exposición.

8 Conclusiones

Una vez finalizados los trabajos, pueden extraerse distintas conclusiones relativas a los objetivos e hipótesis planteados inicialmente. Estas conclusiones se extienden a la metodología desarrollada para la recopilación de datos, concretamente la bicicleta instrumentada, los resultados obtenidos durante las pruebas respecto a las variables analizadas, los efectos aerodinámicos y la exposición al riesgo para los ciclistas en carreteras convencionales. Todo ello ha servido de base para el establecimiento de una serie de recomendaciones de diseño que permitan aumentar la seguridad de los ciclistas en este tipo de carreteras.

8.1 Sobre la metodología para la recopilación de datos. La bicicleta instrumentada

El primer grupo de objetivos de la presente tesis se ha centrado en el establecimiento de una metodología que permitiese la captación de datos sobre la maniobra de adelantamiento a bicicletas para su posterior tratamiento y análisis en gabinete. La instrumentación de una bicicleta con dispositivos para la grabación de vídeo, medición de separaciones y de velocidades, geolocalización y grabación de observaciones por el ciclista ha permitido la recopilación de información sobre casi 3.100 maniobras de adelantamiento de una manera ágil e instantánea. Además, durante el proceso de la investigación se ha podido evolucionar en lo referente a la colocación de los dispositivos de forma que se ha conseguido implementarla de una manera compacta, cómoda para el ciclista y poco perceptible por los vehículos adelantantes. Igualmente, los dispositivos de almacenamiento utilizados han permitido un correcto volcado de la información recopilada para su posterior análisis.

Las principales conclusiones tras la implantación de esta metodología y su utilización práctica han sido las siguientes:

- La instrumentación ha funcionado, salvo problemas puntuales, de manera satisfactoria durante todas las pruebas. La información se ha recogido correctamente en los dispositivos de almacenamiento y la autonomía de las baterías ha sido correcta.
- Las grabaciones realizadas por la cámara trasera han sido de buena calidad y estables, sin vibraciones ni movimientos reseñables, lo cual ha favorecido su edición. Las imágenes grabadas por las cámaras delanteras han sido de menor calidad debido a la menor resolución de las mismas. Se han minimizado los movimientos y vibraciones detectadas en la prueba piloto al eliminar la bandeja delantera y ubicarlas sobre una plataforma más rígida y con menos dispositivos adicionales sobre la misma.
- El micrófono instalado durante la prueba piloto, y a través del cual el ciclista ha grabado sus percepciones durante los adelantamientos, ha permitido recopilar una información muy valiosa, aunque su escucha durante los trabajos de gabinete se ha visto dificultada por el excesivo ruido de fondo existente, siendo especialmente fuertes los ruidos de origen aerodinámico durante los tramos de bajada. Igualmente, el número de comentarios disminuyó conforme avanzaba la prueba. En el resto de salidas, aunque el

micrófono estaba conectado, se optó por recoger las impresiones del ciclista al acabar la prueba.

- Se intentó que el ciclista mantuviese una separación relativamente constante respecto a la línea de arcén, utilizando un puntero láser como referencia, en aquellas carreteras en que su ancho lo permitía. En la práctica se ha detectado que, aunque el ciclista ha intentado seguir la referencia, al final tiende a circular en la posición más cómoda en relación con la sección transversal disponible.
- La instrumentación implementada ha presentado una fiabilidad alta, superior al 90%, a la hora de detectar las velocidades y separaciones en las maniobras de adelantamiento.

8.2 Sobre el análisis de los resultados de las pruebas

Un segundo grupo de los objetivos inicialmente fijados se centraba en la posibilidad de analizar la información recopilada para profundizar en el conocimiento sobre el fenómeno de la maniobra de adelantamiento. Los datos obtenidos han permitido obtener información muy valiosa sobre variables como la separación y la velocidad durante la maniobra, longitudes y tiempos de ocupación del carril contrario y la incidencia de aspectos como la sección transversal, la geometría en planta y alzado, la visibilidad, la posibilidad de adelantamiento o la presencia de tráfico opuesto. Igualmente, se han podido establecer una serie de correlaciones entre algunas de estas variables.

Del análisis realizado podemos concluir lo siguiente en cuando a los resultados concretos obtenidos:

- Tomando en consideración la totalidad de los adelantamientos se comprueba que la separación neta durante la maniobra de adelantamiento oscila entre un mínimo de 0,48 m y un máximo de 3,43 m, con un valor medio de 1,66 m. El percentil 85 se sitúa por encima de los 2 m de separación.
- La separación neta en el caso de los adelantamientos realizados a la bicicleta de montaña es algo mayor, 1,70 m, frente a 1,62 m en el caso de los realizados a bicicleta de carretera, existiendo una diferencia significativa.
- Respecto al tipo de vehículo, los vehículos ligeros y los camiones son los vehículos que mayor separación neta media han mantenido, mientras que los todoterrenos, furgonetas y camionetas son los que menos separación presentan. No existe una diferencia estadísticamente significativa entre las separaciones mantenidas por los coches, furgonetas y camiones pequeños. Sí que se aprecia una diferencia significativa en el caso de la separación neta media mantenida por los camiones, 1,75 m, respecto al resto de vehículos, cuya separación media es de 1,65 m, reflejando un comportamiento diferenciado entre los vehículos ligeros y los pesados.
- Más de una tercera parte de los vehículos mantuvo una separación neta inferior a 1,50 m durante el adelantamiento, siendo los camiones y las furgonetas grandes y camionetas los vehículos menos respetuosos a este respecto. La proporción disminuye

conforme aumenta el ancho de la semiplataforma disponible. Menos de un 5 % de los adelantamientos han guardado una separación neta inferior a 1 m.

- La distancia semineta media obtenida ha sido de 1,79 m. Una cuarta parte de los vehículos ha mantenido una separación semineta inferior a 1,50 m. Existe una diferencia significativa también al considerar el adelantamiento sobre bicicleta de carretera y de montaña, siendo de 1,75 m frente a 1,82 m respectivamente. Atendiendo al tipo de vehículo adelantante, se reflejan valores en torno a la media en los cuatro tipos considerados y no existe una diferencia significativa.
- Respecto a las velocidades medidas durante el adelantamiento, el valor medio detectado ha sido de 75 km/h, con un mínimo de 22 km/h y un máximo de 144 km/h. Los vehículos ligeros son los que mayor velocidad media mantienen durante el adelantamiento mientras que los camiones son los que menor velocidad desarrollan.
- Existe una diferencia significativa en la velocidad durante el adelantamiento atendiendo al tipo de bicicleta adelantada, de carretera o de montaña, aunque en valor absoluto es de unos escasos 2 km/h a favor del segundo caso.
- Los valores de las velocidades en el momento del adelantamiento se mantienen, de manera generalizada, sensiblemente por debajo del percentil 85 de la velocidad real de los puntos donde se han producido. Además, en todos los casos las velocidades medias de adelantamiento se sitúan, de manera significativa, por debajo de las velocidades medias del tramo y en el entorno de la velocidad legal que regula la carretera.
- Los vehículos ligeros y las furgonetas grandes son los que mayor velocidad media mantienen durante el adelantamiento, mientras que los camiones son los que menor velocidad desarrollan. No obstante, la diferencia entre unas y otras no es muy alta, 4,5 km/h. Existe una diferencia significativa entre la velocidad media de los vehículos ligeros, por un lado, los todoterrenos, furgonetas y camionetas, por otro, y los camiones y autobuses.
- De la observación de los datos no se desprende una correlación entre la visibilidad disponible y la separación y velocidad durante la maniobra.
- El análisis de grupos de adelantamiento refleja que la separación media es similar con circulación libre o en grupo, 1,66 m. Sin embargo, la velocidad sí es significativamente menor en el caso de adelantamiento en grupo, 73 km/h frente a 76 km/h cuando el adelantamiento es libre.
- Atendiendo al ancho de la semiplataforma o del arcén de la carretera, existe una tendencia a un aumento de la separación neta durante el adelantamiento conforme aumenta la anchura disponible, tanto considerando la semiplataforma como exclusivamente el arcén. No obstante, las diferencias no acaban de mostrarse como significativas salvo para el caso de las carreteras con mayor y menor ancho de arcén (2,50 m y 0,50 m) en las que se producen las mayores y menores separaciones, 1,90 m y 1,53 m respectivamente, durante el adelantamiento. Para el resto de anchos los

valores obtenidos se sitúan en la media. No ocurre lo mismo en el caso de las velocidades de adelantamiento, las cuales parecen estar más ligadas a las características geométricas de la vía.

- La existencia de arcén coloreado o delimitado para uso ciclista no contribuye, a disminuir sensiblemente la velocidad durante los adelantamientos y se traduce también en menores separaciones durante el mismo, derivadas de que los vehículos parecen mostrar tendencia a mantener su trazado al interpretar la zona coloreada como una zona “protegida”.
- La separación neta media de los adelantamientos en el caso de curvas a derecha ha sido de 1,67 m, en el caso de curvas a izquierda 1,78 m y en el caso de rectas 1,64 m. Existe una importante tendencia por parte de los vehículos a cerrarse hacia el interior de las curvas a izquierda, separándose del ciclista, siendo significativa esta diferencia respecto a las separaciones obtenidas en recta o en curva a la derecha, entre las cuales también se aprecia una cierta diferencia aunque no tan marcada. En recta los vehículos mantienen separaciones ligeramente por debajo de la media. La posible tendencia a cerrarse en curvas a derecha no lleva a separaciones inferiores a las que se tendría en adelantamientos en recta.
- En los adelantamientos en rampa los vehículos guardan en general una menor separación y lo hacen a menor velocidad que en los casos en pendiente.
- En presencia de vehículos en sentido contrario ha tenido una incidencia significativa. Sin tráfico opuesto la separación es un 4,2 % mayor, mientras que con tráfico opuesto la velocidad media durante el adelantamiento es también ligeramente superior, un 3,4 %. En un 36,7 % de las maniobras la separación ha sido inferior a 1,50 m, manteniéndose la proporción general.
- La posibilidad o no de adelantamiento no se presenta como un parámetro significativo a la hora de evaluar las separaciones medias durante la maniobra, situándose en el entorno de la media. La velocidad sí que se ha visto influenciada por la posibilidad o no de adelantamiento, siendo significativamente mayor, un 9,3 %, cuando está permitido el adelantamiento, poniendo de manifiesto una mayor moderación de los conductores cuando no está permitido.
- Casi una cuarta parte de los vehículos invadieron el carril contrario durante el adelantamiento, estando vinculado el mayor porcentaje de vehículos ocupando el carril contrario, en general, al menor semiancho total disponible. Esta ocupación o no del carril contrario ha generado una diferencia significativa entre las separaciones netas medias registradas y que en valores absolutos ha llegado casi a los 25 cm (1,85 m con ocupación y 1,61 sin ocupación), condicionando de manera significativa la maniobra independientemente de las categorías de vehículos. A su vez, casi un 50% de los vehículos que ocuparon el carril contrario lo hicieron en tramos en los que estaba prohibido el adelantamiento, siendo la separación media de 1,84 m y no existiendo diferencia sensible en los casos con prohibición y sin prohibición y tampoco en función del tipo de vehículo.

- La velocidad media en los casos en los que se ocupó el carril contrario fue de 77,1 km/h mientras que en los casos en los que no se produjo ocupación, la velocidad media fue ligeramente menor, concretamente 74,7 km/h, mostrándose esta diferencia como significativa. La explicación a esta circunstancia se encontraría en el hecho de que el conductor que adelanta sin ocupar el carril contrario lo hace más próximo al ciclista por lo que es posible que disminuya la velocidad para disminuir el riesgo durante el adelantamiento.
- En los casos en los que, además de producirse ocupación del carril contrario, ésta ha coincidido con el cruce con un vehículo en sentido opuesto o éste se encontraba a menos de 2 s del final de la maniobra, la separación media ha sido de 1,83 m, sensiblemente superior a la media, y la velocidad media se ha situado en 77 km/h, ligeramente superior a la media general de 75 km/h.
- La tendencia a ocupar el carril contrario cuando existe tráfico en sentido contrario crece conforme aumenta el tiempo de cruce. A partir de los 10 s la presencia del vehículo contrario deja de condicionar sensiblemente la decisión de ocupar o no el carril contrario durante la maniobra de adelantamiento.
- Los tiempos de ocupación del carril contrario se sitúan entre los 2 y los 4 s, con un valor del percentil 85 de 5 s. La mayor parte de los adelantamientos con ocupación del carril contrario requieren una ocupación que oscila entre los 35 y los 85 m, situándose el percentil 85 en 105 m.

Estos resultados han permitido confirmar varias de las hipótesis previas planteadas, aunque también se han detectado hipótesis que no se han visto refrendadas por los resultados experimentales:

- La separación media en los adelantamientos sobre la bicicleta de carretera ha sido menor que en el caso de la bicicleta de montaña tal y como se había planteado inicialmente. Sin embargo, la velocidad ha sido mayor en el caso del adelantamiento a la bicicleta de montaña que a la de carretera, al contrario de lo planteado en las hipótesis iniciales.
- Respecto al comportamiento por tipo de vehículos, se ha constatado un comportamiento diferenciado entre los vehículos ligeros y los pesados a efectos de separaciones netas durante la maniobra, siendo esta separación menor para el primer grupo de vehículos como se había planteado en las hipótesis iniciales. Sin embargo, no existe una diferencia sensible en la separación semineta media registrada. Respecto a la velocidad media durante la maniobra, los vehículos ligeros y las furgonetas grandes son los que mayor velocidad media mantienen durante el adelantamiento, mientras que los camiones son los que menor velocidad desarrollan. Esto coincide sensiblemente con las hipótesis iniciales, aunque se planteaba que las velocidades de las furgonetas grandes fuesen más próximas a las de los camiones que a las de los otros vehículos de menor tamaño.

- Los tiempos y longitudes de ocupación del carril contrario se han mostrado mayores cuanto mayor es el tamaño del vehículo, confirmando las hipótesis iniciales.
- Ante la presencia de tráfico en sentido contrario, los vehículos tienden a adelantar ligeramente más próximos y más rápido, coincidiendo parcialmente con lo inicialmente previsto.
- Confirmando también las hipótesis iniciales, la existencia de carriles y arcenes claramente delimitados ejerce un efecto de guiado y acotación de espacios, de forma que los vehículos tienden a desplazarse menos lateralmente o, al menos, de una forma menos descontrolada. Igualmente, secciones transversales amplias con arcenes amplios generan separaciones elevadas. Aunque no se había planteado en las hipótesis iniciales, cabe destacar que de los resultados obtenidos parece desprenderse que el coloreado del arcén hace que los conductores tiendan a no separarse tanto del ciclista durante el adelantamiento, manteniendo velocidades altas.
- Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la mayor ocupación del carril contrario está vinculada, en general, al menor semiancho total, carril más arcén, disponible afectando de manera significativa a la distancia de adelantamiento para todas las categorías de vehículos, no sólo a los camiones o furgonetas grandes como se planteó en las hipótesis iniciales.
- Respecto a las hipótesis sobre la incidencia de la visibilidad, de la observación de los datos recopilados no se desprende una correlación entre la visibilidad disponible y la separación y velocidad durante la maniobra, aunque sí que se pone de manifiesto que esas visibilidades influyen en el comportamiento del conductor dado que para menores distancias de visibilidad se ha obtenido una mayor dispersión tanto en separación como en la velocidad, mientras para mayores distancias de visibilidad las medidas han sido menos dispersas, tendiendo al valor medio en el caso de las separaciones y presentando una cierta tendencia creciente en el caso de las velocidades.
- Sobre el comportamiento en curvas, los resultados obtenidos confirman las hipótesis previas dado que se ha constatado una importante tendencia por parte de los vehículos a cerrarse hacia el interior de las curvas a izquierda, separándose del ciclista, existiendo una diferencia significativa respecto a las separaciones obtenidas en recta o en curva a la derecha.
- Respecto a la incidencia del trazado en alzado, y aunque las carreteras utilizadas no presentaban un perfil longitudinal con pendientes singulares, en los adelantamientos en rampa los vehículos han guardado, en general, una menor separación y lo han hecho a menor velocidad que en los casos en pendiente, lo que pone de manifiesto, en principio, un comportamiento diferenciado como se había planteado en las hipótesis iniciales.

8.3 Sobre los efectos aerodinámicos y la exposición al riesgo

Aunque en la instrumentación de las bicicletas no se ha incorporado ningún dispositivo que permita medir las presiones/fuerzas soportadas por el ciclista durante el adelantamiento, se ha

podido establecer una relación entre algunas de las variables recogidas durante los recorridos de las bicicletas instrumentadas y la mayor o menor peligrosidad de la maniobra como consecuencia de las fuerzas transmitidas. Esto ha permitido aproximarse a los objetivos inicialmente propuestos en este campo en relación con la estabilidad del ciclista, la evaluación de los niveles de riesgo a los que está expuesto y el establecimiento de previsiones sobre accidentalidad.

Partiendo de algunas de las conclusiones recogidas en el análisis de las investigaciones disponibles y aplicándolas a los resultados obtenidos, se han podido establecer unos niveles de riesgo función del semiancho de la plataforma y del porcentaje de vehículos pesados. Los niveles de riesgo propuestos explican de manera bastante razonable las propias sensaciones de mayor o menor riesgo transmitidas por el ciclista que ha realizado la pruebas.

Igualmente, se ha determinado de la exposición al riesgo en función tanto del en función tanto del tráfico de vehículos como de ciclistas y posterior correlación con la accidentalidad previsible.

Las principales conclusiones en este campo han sido las siguientes:

- La fuerza aerodinámica soportada por un ciclista como consecuencia de la maniobra de adelantamiento puede determinarse en función de la separación semineta durante el adelantamiento, la anchura del vehículo adelantante y su velocidad. El límite admisible se sitúa en 16,5 N.
- De la formulación propuesta se concluye que los efectos sobre el ciclista desaparecen para separaciones superiores a 2,24 m en el caso de vehículos ligeros, de 2,64 m en el caso de furgonetas grandes y camionetas y de 3,30 m en el caso de camiones.
- El efecto más desfavorable está asociado a los vehículos de mayor tamaño, siendo significativa la diferencia en función del tipo de vehículo. Igualmente, analizando los adelantamientos en los que se supera la referencia admisible de 16,5 N, es especialmente significativa la incidencia que tienen las furgonetas grandes y camionetas sobre el ciclista.
- La mayoría de los casos en los que se supera la fuerza máxima admisible de 16,5 N se dan con separaciones entre 0,80 y 1,60 m (separaciones netas inferiores a 1,50 m) y con velocidades superiores a 80 km/h. El mayor porcentaje de casos se ha producido a causa de adelantamientos de coches, furgonetas y camionetas. Por tanto, la separación mínima de 1,50 m fijada en el Reglamento General de Circulación no garantiza de manera absoluta la seguridad de los ciclistas.
- Salvo un caso aislado, vinculados a velocidad muy alta y separación baja, las fuerzas debidas a los adelantamientos se han mantenido por debajo de los límites que garantizan la estabilidad del ciclista.
- El empleo del percentil 85 de las fuerzas soportadas, F_{85} , ha permitido categorizar el nivel de riesgo asociado a cada una de las carreteras estudiadas. Los niveles de riesgo determinados con este criterio se han mostrado ajustados a las percepciones transmitidas por el ciclista durante las pruebas. Igualmente, para la utilización de este

parámetro en la determinación del nivel de riesgo asociado a otras carreteras, se ha establecido una formulación que permite su determinación en función de la sección transversal de la carretera, a partir del ancho de la semiplataforma, y de la categoría de tráfico, a través del porcentaje de vehículos pesados.

- La asociación de los niveles de fuerzas previsibles con los volúmenes de tráfico de vehículos y ciclistas ha permitido establecer un modelo para categorizar los grados de exposición al riesgo para una carretera convencional. Para ello se ha definido el parámetro de referencia FT, frecuencia de fuerza acumulada de exposición en N/min.
- El empleo de los valores de la fuerza lateral, F_{85} , la frecuencia temporal de fuerza acumulada, FT, junto con la demanda de vehículos y ciclistas en un segmento de carretera para obtener la exposición al riesgo previsible en el mismo ha permitido establecer una previsión del número de accidentes por adelantamiento a ciclistas en una carretera convencional para un periodo de 10 años.

Como puede observarse, y por lo que hace referencia a los efectos aerodinámicos, el modelo propuesto a partir de la investigación realizada pone de manifiesto que a mayores velocidades de los vehículos adelantantes y menores separaciones las fuerzas transmitidas sobre el ciclista son mayores. Igualmente para una misma separación y velocidad durante la maniobra las fuerzas transmitidas por vehículos de mayor tamaño son superiores, confirmando las hipótesis planteadas.

9 Futuras líneas de investigación

Fruto de los resultados de esta investigación se ha detectado la existencia de ciertas limitaciones y carencias que resolver, así como otros desarrollos que siguen siendo necesarios para aumentar la validez y efectividad de la investigación. Se abren así una serie de líneas de investigación que el propio estudio no ha sido capaz de abarcar, o que se han ido descubriendo a lo largo del mismo. Igualmente, cabe extender las investigaciones a otros campos afines dentro del ámbito de la seguridad de los ciclistas. En este apartado se resumen los aspectos que es necesario investigar más profundamente.

Las principales limitaciones detectadas han surgido como consecuencia de la instrumentación empleada en la bicicleta, por un lado, y de la necesidad, por otro, de ampliar o extender la investigación sobre determinadas cuestiones surgidas durante la propia investigación. A raíz de ello, se considera que debe seguir avanzándose en:

- Determinación de la variación de separaciones y velocidades, así como de las zonas de ocupación por parte del vehículo adelantante durante las fases de la maniobra de adelantamiento, mediante la incorporación de dispositivos LIDAR. La instrumentación empleada y su disposición sólo ha permitido determinar las velocidades y separaciones en la fase en la que el vehículo adelantante se disponía en paralelo al ciclista, pero no durante las fases de aproximación y retorno.
- Captación de la sensación de riesgo percibida por el ciclista durante la maniobra de adelantamiento mediante la disposición en la bicicleta instrumentada de un dispositivo registrador, tipo pulsador. Esta mejora en la instrumentación permitiría al ciclista señalar el mayor o menor riesgo percibido durante las maniobras como alternativa a la grabación de sus impresiones durante la ejecución de las pruebas y que no se ha mostrado del todo eficaz.
- Determinación de las fuentes y magnitudes de los errores en cada etapa del proceso asociados a los dispositivos utilizados, al proceso de toma de datos y a su manipulación y tratamiento en gabinete. La combinación de todos estos pequeños errores no ha sido establecida con precisión durante la investigación por lo que su investigación puede aportar información sobre su mayor o menor incidencia.
- Análisis de un número representativo de carreteras convencionales con arcenes coloreados con el fin de evaluar la incidencia de esta variable en el comportamiento del vehículo adelantante. Se considera necesario contrastar los resultados obtenidos en el análisis de las dos carreteras con esta tipología de arcén en las que se han realizado toma de datos durante la investigación para evaluar la eficacia de esta medida.
- Estudio de adelantamientos a ciclistas en carreteras con carriles o arcenes estrictos o con trazados geométrico complicados, tanto en planta como en alzado. Las carreteras estudiadas tenían un trazado, en general, poco sinuoso y no presentaban un perfil longitudinal con pendientes singulares. La ampliación del análisis al caso de carreteras de montaña donde las velocidades, trazadas de los ciclistas o cadencias de pedaleo presentan singularidades respecto a un trazado más suave o generoso, tanto en

geometría como sección transversal, permitiría profundizar en las singularidades de las maniobras de adelantamiento en estos tramos más complejos en cuanto a su geometría y sección transversal.

- Análisis del comportamiento durante la maniobra de adelantamiento de grupos de vehículos consecutivos en caravana y la incidencia del tráfico opuesto en carreteras con alta intensidad de tráfico. Aunque a partir de los datos recopilados durante las pruebas se ha podido realizar una primera aproximación al comportamiento de algunos grupos de vehículos adelantantes detectados, las intensidades de las carreteras recorridas no eran lo suficientemente elevadas, en general, para poder profundizar en la influencia que puede ejercer en la maniobra de adelantamiento la presencia de tráfico continuados en ambos sentidos en el momento de realizarse la misma.

Respecto a las carencias detectadas, éstas están vinculadas, principalmente, a la determinación de las fuerzas aerodinámicas a las que está sometido el ciclista durante la maniobra. Se consideran las siguientes líneas de investigación en este campo:

- Medición in situ de las variaciones de presiones y fuerzas sobre el ciclista durante el adelantamiento y las fuerzas derivadas mediante la incorporación de dispositivos específicos en la bicicleta instrumentada. Se considera necesario recopilar información in situ sobre estas fuerzas para poder incorporarlas al proceso de evaluación de los niveles de riesgo sobre el ciclista dado que en la presente investigación éstas han tenido que determinarse a partir de un modelo teórico apoyado en las conclusiones de algunas de las investigaciones revisadas.
- Establecimiento de la correlación entre la fuerza soportada por el ciclista y las variables separación, velocidad y anchura del vehículo adelantante a partir de los datos recogidos in situ sobre fuerzas transmitidas. Esto permitiría contrastar empíricamente las conclusiones a este respecto establecidas en la presente investigación.
- Análisis de la incidencia de la altura del vehículo adelantante en las fuerzas transmitidas al ciclista. El modelo teórico propuesto en esta investigación para determinar las fuerzas generadas durante el adelantamiento se basa en la relación entre la anchura del vehículo adelantante y su separación respecto al ciclista. Debe completarse este planteamiento evaluando, a partir la información sobre las fuerzas registradas in situ, si la altura del vehículo tiene también incidencia sobre dichas fuerzas.
- Verificación de las separaciones límite a partir de las cuales dejan de tener incidencia los efectos aerodinámicos en función del tipo de vehículo. En la presente investigación esos límites se han establecido a partir de la formulación propuesta. El posible ajuste de esa formulación a partir de los datos tomados in situ permitiría evaluar con mayor precisión esos límites.
- Ajuste de los modelos sobre niveles de riesgo y exposición al riesgo en base a los avances en la estimación empírica de fuerzas transmitidas durante el adelantamiento. La disponibilidad de la información sobre fuerzas recopilada in situ permitiría alcanzar un mejor ajuste de los modelos propuestos.

- Establecimiento de una metodología para la estimación de la demanda ciclista en tramos de carreteras que permita incorporarla, con mayor precisión, en la determinación de la exposición al riesgo. La determinación de la demanda ciclista correspondiente a los tramos de carretera analizados en la presente investigación se ha apoyado en la información publicada en una web especializada para corredores y ciclistas, y en la que éstos comparten la información sobre sus salidas y recorridos, ante la carencia de datos oficiales al respecto. Es necesario establecer una metodología práctica que permita su obtención in situ de manera fiable y extrapolable a cualquier carretera.

Finalmente, existen una serie de campos afines relacionados con la seguridad del colectivo ciclista a los que se puede extender la presente línea de investigación:

- Establecimiento de parámetros de riesgo para la seguridad de los ciclistas durante las maniobras de adelantamiento en autovías. Los mayores volúmenes de tráfico, su diferente composición, así como las mayores velocidades desarrolladas, pueden generar interacciones diferenciadas sobre los ciclistas frente a las producidas en las carreteras convencionales.
- Análisis de las consecuencias que sobre el flujo del tráfico y las velocidades de circulación se pueden generar en carreteras con gran afluencia de ciclistas. La presencia de gran número de ciclistas en determinados tramos de carreteras puede generar importantes incidencias sobre la funcionalidad y la seguridad vial de la vía.
- Estudio de las interacciones derivadas del adelantamiento sobre parejas o grupos de ciclistas. El adelantamiento sobre grupos más o menos numerosos de ciclistas plantea singularidades respecto al adelantamiento sobre un ciclista único como consecuencia de la mayor longitud y anchura que implica la agrupación de ciclistas.
- Análisis de la interferencia entre las maniobras de adelantamiento y los cambios de trayectoria de ciclistas en el entorno de intersecciones y glorietas y su incidencia en la exposición al riesgo. La coincidencia de maniobras o desplazamientos laterales de los ciclistas en el entorno de intersecciones y glorietas con el adelantamiento por parte de un vehículo origina situaciones de conflicto adicionales con una importante incidencia en la seguridad vial.

10 Conclusión

A lo largo de la presente Tesis se ha realizado un análisis de los sistemas disponibles en la actualidad para poder analizar las maniobras de adelantamiento de vehículos sobre bicicletas en carreteras convencionales y medir así los diferentes parámetros que caracterizan la maniobra de adelantamiento. De esta forma se ha pretendido analizar la incidencia de diversos parámetros tanto de las condiciones del tráfico, características de los vehículos, características de los ciclistas, de la carretera, etc. de cara a profundizar en la determinación de los niveles de riesgo asociados a la circulación de un colectivo tan vulnerable como es el de los ciclistas.

Se ha efectuado un análisis de la situación en la que se encuentran las investigaciones en relación con las maniobras de adelantamiento de vehículos sobre ciclistas, con especial orientación hacia las metodologías de toma de datos in situ durante dichas maniobras por entenderse que es, a través de dichas metodologías, el camino correcto para conocer con mayor profundidad las variables que intervienen y condicionan este fenómeno. Fruto de este análisis se ha llegado a la conclusión de que el sistema más adecuado es el basado en la utilización de una bicicleta instrumentada. Igualmente, se han revisado los estudios sobre los efectos aerodinámicos durante el adelantamiento dada su incidencia en la estabilidad y seguridad del ciclista

A partir de ahí, se ha procedido a la instrumentación de una bicicleta de montaña y otra de carretera y se han recopilado datos del adelantamiento in situ a lo largo de varias carreteras convencionales.

Los datos obtenidos han sido analizados y a partir de ellos se han establecido diferentes parámetros de riesgo asociados a la maniobra de adelantamiento y se han propuesto una serie de recomendaciones para el diseño y explotación de carreteras convencionales que permitan mejorar la seguridad de los ciclistas.

Con estos últimos comentarios finaliza la presente Tesis Doctoral, dedicada al establecimiento de parámetros de riesgo para la seguridad de los ciclistas durante las maniobras de adelantamiento en carreteras convencionales y desarrollada por el doctorando D. Vicente Ferrer Pérez.

Valencia, julio de 2017

Fdo.: Vicente Ferrer Pérez

Referencias Bibliográficas

Amy Gillett Foundation (AGF), 2016. Minimum overtaking distance.

Basford, L., 2002. Drivers' perceptions of cyclists. TRL Report TRL549.

Bella, F. y Silvestri, M., 2017. Interaction driver–bicyclist on rural roads: Effects of cross-sections and road geometric elements. *Accident Analysis and Prevention*, 102, pp. 191–201.

Chapman, J.R., Noyce, D.A., 2010. A Methodology for a Low-Cost, Portable, On-Bicycle Data Collection System, Transportation Research Board 89th Annual Meeting.

Chapman, J.R., Noyce, D.A., 2012. Observations of Driver Behaviors during the Overtaking of Bicycles on Rural Roads, Transportation Research Board 91st Annual Meeting.

Comisión Europea, 2011. Hacia un espacio europeo de seguridad vial: orientaciones políticas sobre seguridad vial 2011-2020.

Daniel, T., Smith, Jr., 1976. Safety and locational criteria for bicycle facilities. User Manual Volume I: Bicycle facility location criteria. U.S. Department of Transportation.

Daniel, T., Smith, Jr., 1976. Safety and locational criteria for bicycle facilities. User Manual Volume II: Design and safety criteria. U.S. Department of Transportation.

Daniels, S., Brigs, T., 2011. Extended prediction models for crashes at roundabouts. *Safety Science*, Volume 49, Issue 2, pp. 198–207.

Dey, P.P., 2008. Simulation of Mixed Traffic Flow on Two-Lane Roads. *Journal of Transportation Engineering*, pp. 361-369.

Dirección General de Tráfico. Barómetro anual de la bicicleta, 2011.

Dirección General de Tráfico. La movilidad segura de los colectivos más vulnerables. La protección de peatones y ciclistas en el ámbito urbano, 2011.

Dirección General de Tráfico, 2011. Estrategia Española de Seguridad Vial 2011-2020.

Dirección General de Tráfico, varios años. Anuario estadístico de accidentes.

Dirección General de Tráfico. Aplicación ARENA. Accidentes: REcogida de iNformación y Análisis.

Dozza, M., Werneke, J., 2014. Introducing naturalistic cycling data: What factors influence bicyclists' safety in the real world? *Transportation Research Part F* 24, pp. 83-91.

Dozza, M., et al., 2015. How do drivers overtake cyclists? *Accident Analysis and Prevention* 88, pp. 29–36.

Ferrara, T.C., Lam, T.N., 1979. Analysis of bicycle delays at intersections and crossing by computer Simulation. *Transport Research Record* 706, pp. 36-44.

González, I., García, J., 2014. Ventajas e inconvenientes de ajustar la bicicleta tomando como referencia las medidas corporales: (II) altura, retroceso y ángulo del tubo del sillín. Fundación Ciclista Euskadi y Laboratorio de Biomecánica, Universidad de León.

Grant, D., Rutner, S.M., 2004. The effect of bicycle helmet legislation on bicycling fatalities. *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol. 23, No. 3, pp. 595–611.

Harkey, D.L., 1997. P.E- Evaluation of shared-use facilities for bicycles and motor vehicles. *Transportation Research Record* 1.578, pp. 111-118.

Hunter, W.W., Stewart, J.R., Stutts, J.C., 1999. A Comparative Analysis of Bicycle Lanes Versus Wide Curb Lanes: Final Report, U.S. Department of transportation, pp. 1-97.

Hunter, W.W., 1999. An Evaluation of Red Shoulders as a Bicycle and Pedestrian Facility. *Association for the Advancement of Auto Medicine Proceedings*, pp. 29-43.

Hurst, J.K., 1998. The good, de bad and the ugly. Association between car colour and bicycle passing space. *CMAJ: Canadian Medical Association Journal*, Vol. 159 Issue 12, p. 1461.

Kato, Y., et al. 1981. Aerodynamic effects to a bicycle caused by a passing vehicle.

Khan, A.M., Bacchus, A., 1995. Bicycle use of highway shoulders. *Transportation Research Board. Record* 1502, pp. 8-21.

Le Corbusier, 1948. *Le Modulor*.

Llorca, C., 2010. Estudio experimental para el desarrollo de modelos de distancia de visibilidad de adelantamiento. Aplicación a la mejora del trazado y de la señalización de la CV-50 entre Cheste y Vilamarxant (Valencia). Proyecto fin de carrera, Universitat Politècnica de València.

Love, D.C., Breaud, A. et al, 2012. Is the three-foot bicycle passing law working in Baltimore, Maryland? *Accident Analysis and Prevention* 48, pp. 451-456.

McCarthy, D., 2010. I'm a normal person. An examination of how utilitarian cyclists in Charleston South Carolina use an insider/outsider framework to make sense of risks. *Urban Stud OnlineFirst*.

McGuire, L., Smith, N., 2000. Cycling safety: injury prevention in Oxford cyclists. *Injury Prevention* 2000; 6: pp. 285-287.

Maki, T., 2003. Comparative analysis of vehicle-bicyclist and vehicle-pedestrian accidents in Japan. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 35, Issue 6, pp. 825-1004.

Mehta, K., 2015. Analysis of Passing Distances between Bicycles and Motorized Vehicles on Urban Arterials. Tesis doctoral.

Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación.

Nabors, D., Goughnour, E. et al, 2012. Bicycle road safety audit guidelines and prompt lists. U.S. Department of Transportation.

Noger, C., et al, 2005. Investigation of the transient aerodynamic phenomena associated with passing manoeuvres. *Journal of Fluids and Structures* 21, pp. 231-241.

NZ Transport Agency, 2016. Investigating the feasibility of trialling a Minimum Overtaking Gap law for motorists overtaking cyclists in New Zealand.

Oda, H., Kubota, S., Okamoto, Y., 2007. Research on technology for reducing sudden pedestrian or cyclist accidents with vehicles. *Intelligent Transportation Systems Conference*, Seattle, WA, USA, pp. 1092-1096.

Organización Mundial de la Salud, 2015. Global status report on road safety.

Osberg, J.S., Stiles, S.C., 1998. Bicycle safety behavior in Paris and Boston. *Accident Analysis and Prevention*. Volume 30, Issue 5, PP. 679–687

Parkin, J., Meyers, C., 2010. The effect of cycle lanes on the proximity between motor traffic and cycle traffic. *Accident Analysis and Prevention* 42, pp. 159-165.

Parkin, J., Wardman, M., 2007. Matthew Page. Models of perceived cycling risk and route acceptability. *Accident Analysis and Prevention* 39, pp. 364–371.

Parkin, J., Wardman, M., Page, M, 2007. Models of perceived cycling risk and route acceptability *Accident Analysis and Prevention* 39, pp. 364-371.

Pérez, A., García, A., Camacho, F., D'Attoma, P., 2010. Use of GPS data to model operating speed and deceleration on two-lane rural roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2171, Transportation Research Board.

Povey, L. J., Frith, W.J., Graham, P.G., 1999. Cycle helmet effectiveness in New Zealand. *Accident Analysis and Prevention*, 31, pp. 763-770.

Real Automóvil Club de España. Situación actual del colectivo ciclista en España, 2009.

Real Federación Española de Ciclismo. Estudio sobre accidentalidad ciclista en España. Periodo 1996-2001.

Strava, Inc. Ponemos en contacto a deportistas de todos los países. www.strava.com. Acceso 2017.

Savolainen, P.T., Gates, T.J., 2012. Assessing the Influence of Centerline Rumble Strips on Motor Vehicle Lateral Placement when passing bicycles. *Transportation Research Board Annual Meeting*, Paper #12-0460.

Savolainen, P.T., Gates, T.J., 2012. Impacts of Centerline and Shoulder Rumble Strips on Vehicular Lateral Lane Position and passing maneuvers on High-speed Two-line rural roadways. *Transportation Research Board Annual Meeting*.

Taylor, D., Davis, W.J., 1999. Review of basic research in bicycle traffic science, traffic operations, and facility design. *Transportation Research Record* 1674, Paper No. 99-0501, 1999, pp. 102-110.

USDOT FHWA, 1977. A Bikeway Criteria Digest. The ABCD'S of Bikeways. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Uystepuyst, D., Krajnovic, S., 2013. Numerical simulation of the transient aerodynamic phenomena induced by passing manoeuvres. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 114, pp. 62-71.

Walker, I., 2007. Drivers overtaking bicyclists. Objective data on the effects of riding position, helmet use, vehicle type and apparent gender. *Accident Analysis and Prevention* 39, pp. 417–425.

Watts, G.R., 1979. Bicycle safety devices: Effects on vehicle passing distances. Transport and Road Research Laboratory Report number SR512.

Watts, G.R., 1984. Pedal cycle lamps and reflectors-some visibility tests and surveys. Transport and Road Research Laboratory Report number SR1108.

Watts, G.R., 1984. Evaluation of conspicuity aids for pedal cyclist. Transport and Road Research Laboratory Report number LR1103.

Watts, G.R., 1984. Evaluation of pedal cycle spacers. Transport and Road Research Laboratory Report number SR820.

Publicaciones propias relacionadas

Llorca, C., Doménech, A., Agustín, F., Ferrer, V., García, A., 2014. Motor vehicles overtaking cyclists on two-lane rural roads: analysis on speed and lateral clearance. 3rd International Cycling Safety Conference, Gotheburg, Sweden.

García, A., Doménech, A., Llorca, C., Agustín, F., Ferrer, V., 2015. Effects of Road Geometry on the Interaction Between Cyclists and Vehicles on Two-Lane Rural Highways. 5th International Symposium on Highway Geometric Design, Vancouver, Canadá.

Anexos

Anexo A. Publicaciones relacionadas con la tesis doctoral

Anexo B. Instrumentación

Anexo C. Recorridos tramos de prueba

Anexo D. Carreteras de contraste

Anexo E. Accidentes

ANEXO A

**PUBLICACIONES PROPIAS
RELACIONADAS CON LA TESIS
DOCTORAL**

Llorca, C., Doménech, A., Agustín, F., Ferrer, V., García, A., 2014. Motor vehicles overtaking cyclists on two-lane rural roads: analysis on speed and lateral clearance. 3rd International Cycling Safety Conference, Gotheburg, Sweden.

Motor vehicles overtaking cyclists on two-lane rural roads: analysis on speed and lateral clearance

C. Llorca¹, A. Angel-Domenech², F. Agustin-Gomez³, V. Ferrer⁴, A. Garcia⁵

¹ PhD Candidate

Highway Engineering Research Group (HERG)
Universitat Politècnica de València (UPV)
Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain

e-mail: carlloga@cam.upv.es

² Research Assistant, HERG, UPV

e-mail: anngedom@cam.upv.es

⁴ PhD Candidate, HERG, UPV

e-mail: viferpe1@tra.upv.es

³ Research Assistant, HERG, UPV

e-mail: feraggio@tra.upv.es

⁵ Professor, HERG, UPV

e-mail: agarciag@tra.upv.es

ABSTRACT

Two-lane rural roads in Spain accommodate significant bicycle traffic volumes, mainly associated to sport and leisure activities. Motor vehicles' higher speed, weight and volume represent a serious safety concern when they overtake a bicycle. Spanish traffic rules determine a minimum 1.5 m lateral distance.

This research characterized 2,928 overtaking manoeuvres in the overtaking lateral clearance between motor vehicle and bicycle, as well as in the motor vehicle speed, in contrast with previous research. Two instrumented bicycles were equipped with laser rangefinders, a GPS tracker and three video cameras. They rode along seven rural road segments at a speed between 15 and 25 km/h, centred on the paved shoulder, or as close as possible to the outer edge. Besides, this methodology allowed the characterization of the overtaken vehicle type, its left lane occupation as well as its interaction with opposing traffic flow. For each session, rider's general risk perception was also registered.

The analysis suggested that lateral clearance is not the only factor that influenced rider's risk perception. On the contrary, a combined factor of lateral clearance, vehicle type and vehicle speed had a more significant correlation with it. This agreed with literature models of transient aerodynamic forces between overtaking and overtaken vehicles. Results showed that effect of heavy vehicles on bicyclists was stronger. In addition to this, the combined factor was higher on tangent sections where overtaking was permitted. The effect of bicycle type (mountain bike or racing bicycle) and presence of opposing vehicles was less significant.

Keywords: bicycle, overtaking, two-lane rural road, lateral clearance, instrumented bicycle, risk perception.

INTRODUCTION

Two-lane rural roads in Spain accommodate significant bicycle traffic volumes, mainly associated to sport and leisure activities. According to Spanish traffic regulations [1], cyclists must ride as close as possible to the outer edge of the road, on the shoulder if it exists. This research focuses on two-lane rural roads, which do not have any specific lane marking for bicycles. Motor vehicles that overtake cyclists must keep a minimum lateral distance of 1.5 m.

According to Spanish Traffic Directorate, there were 5,835 accidents with victims involving bicycles in Spain in 2013. Only 26% of accidents occurred in rural roads. However, 46% of severe injuries (297 of 646 severe injuries) corresponded to rural roads. Moreover, the proportion of deaths in rural roads increased to 65% (45 of 69 deaths).

Despite the higher use of bicycles on urban environments, cycling on rural roads represents a serious safety concern, affecting around 45 deaths a year. Relatively, the severity of crashes involving bicycles on rural roads is much higher. The specific cause of this severity might be the higher difference between motor vehicle speed and bicycle speed, as well as the weight and volume difference between a bicycle and a motor vehicle.

Previous research reported this higher severity. Boufous et al. [2] found that, although only a 5% of bicycle crashes in Victoria region (Australia), their severity was higher (46% of crashes involved severe injuries, compared to 33% on urban crashes). Those authors explained that the cause of this result was the higher speed of motor vehicles. Tin Tin et al. [3] reported lower risk on rural roads compared to urban streets, although they not analysed the severity.

Despite the higher relative severity of bicycle crashes on rural roads, there have been very few studies, compared to urban cycling safety. Results of urban safety analyses (among many others, Klassen et al. [4] Hamann and Peek-Asa [5] or Osberg et al. [6]) cannot be extrapolated to overtaking manoeuvres of motor vehicles and bicycles on rural roads.

For this reason, some researchers focused on the observation of overtaking manoeuvres on rural road segments. Savolainen et al. [7] installed video cameras on high masts to observe the interaction between motor vehicles and bicycles on a rural road tangent section in United States. They analysed how frequent motor vehicles crossed the centreline, as a function of the position of the cyclist on the road shoulders, the presence of opposing traffic or the existence of centreline rumble strips. However, they did not measure accurately the lateral separation between the bicycle and the motor vehicle at the overtaking time. Later, Kay et al. [8] found that the average vehicular speeds were slightly reduced by the presence of a "Share the Road" sign treatment.

Alternatively, Walker [9] and Walker et al. [10] developed an instrumented bicycle to observe motor vehicles overtaking it. This bicycle was equipped with an ultrasonic distance measurement sensor and a video camera. These authors investigated the influence of using helmet as well as the effect of cyclist gender, cyclist clothing and bicycle position on the mean overtaking proximity (lateral distance between the motor vehicle and the bicycle). A sample of 2,355 manoeuvres was characterized. The absence of helmet was related with slightly higher overtaking proximities, although a higher effect was associated with the bicycle distance from road edge. The higher the distance from the outer edge of the road, the lower the mean overtaking proximity (from 1.40 m if the bicycle was only 0.25 m from the outer edge to 1.2 m if it rode 1.25 m from it). The influence of clothing visibility was small, and therefore authors could not provide any recommendation to prevent very close overtaking manoeuvres.

Chapman and Noyce [11] used also an instrumented bicycle to observe overtaking manoeuvres on two-lane rural roads. This bicycle was equipped with two cameras and an ultrasonic sensor

to measure the distance to the overtaking vehicles. Observing 1,151 manoeuvres the authors investigated the effect of motor vehicle type and existence of shoulder in centreline violations. Those violations were more frequent on highways without paved shoulders. The violations of the 3 feet (1 m) lateral distance between motor vehicle and bicycle (named lateral clearance) were very rare. The study did not analyse the frequency distribution of the lateral clearance.

Love et al. [12] studied the compliance of the three-foot (1 m) lateral separation regulation in Baltimore, Maryland. They evaluated the proportion of motor vehicles that kept that distance, although all the experiment took place on urban streets.

The above-cited studies only considered the overtaking proximity or distance between motor vehicle and bicycle. However, the speed of overtaking vehicles was not measured. The instrumented bicycles (as well as video observations) were unable to provide a measurement of this variable. According to Boufous et al. [2], the higher severity of rural road accidents may be related to the higher speed, but previous observational studies did not measure it. The technical difficulties of measuring the speed of an overtaking vehicle might explain why it was not measured in the past. In fact, other authors used instrumented bicycles in urban safety studies, but did not provide a reliable method for overtaking vehicle speeds characterization (Chuang et al. [13] or Dozza and Werneke [14]).

However, Ata and Langlois [15] did detect the influence the relationship between overtaking vehicle speed and lateral clearance. Although this research was focused on urban streets, the authors identified the collision risk as the combination of two factors: common space occupancy and aerodynamic effect of trucks or buses overtaking a cyclist. The effect of aerodynamic forces depended on both the lateral distance and the speed of the motor vehicle. These results showed that different combinations of speed and clearance generated the same aerodynamic forces.

Other studies, such as Noger et al. [16], Corin et al. [17], and Uystepruystand and Krajnovic [18] investigated aerodynamic forces between overtaking and overtaken vehicles. Their results also state that aerodynamic forces are proportional to the square of the overtaking vehicle speed and decrease with lateral clearance. They only focused on overtaking between motor vehicles, and therefore, the results cannot be easily applied to bicycles. Only Kato et al. [19] investigated the overtaking involving bicycles using experimental and numerical tests. However, this study only analysed the evolution of aerodynamic forces during the manoeuvre, without testing the influence of speed or distance between the interacting bodies.

Previous research on motor vehicle overtaking bicycles on rural roads has been centred on the study of lateral clearance, being speed of motor vehicles not measured. However, there are evidences of the effect of this variable. In one hand, it is a significant factor of aerodynamic forces between overtaken an overtaking vehicles, on the other hand, it might be associated with the higher severity of rural bicycle crashes. The contribution of this paper, in comparison with previous research, was the characterization of lateral clearance, motor vehicle speed and rider's subjective perception of overtaking process.

OBJECTIVES AND HYPOTHESES

The aim of this paper was the study of lateral clearance between motor vehicles and bicycles, as well as vehicle speeds during overtaking manoeuvres on two-lane rural roads. The study had the following objectives:

- Develop a methodology based on an instrumented bicycle, to measure the lateral clearance and motor vehicle speed during overtaking manoeuvres.
- Collect data of overtaking manoeuvres on a sample of two-lane rural roads.

- Compare the effect of lateral clearance and overtaking vehicle speed with rider's subjective perception of the different road segments, and with current traffic regulations.
- Analysis of the effect of bicycle type, road alignment and presence of opposing traffic.

The initial hypothesis of this research was that both lateral clearance and overtaking vehicle speed affect the subjective perception of each road segment. The higher the lateral clearance and the lower the speed, the safer the rider perception. This agrees with aerodynamic forces between overtaking and overtaken vehicles. Besides, a higher proportion of heavy vehicles may affect the perception of risk.

METHODOLOGY

The observation of overtaking manoeuvres was carried out using an instrumented bicycle. A professional cyclist rode the bicycle on seven rural road segments, resulting in the characterization of each motor vehicle overtaking manoeuvre.

Instrumented bicycle

This research started with the development of a new, versatile, instrumented bicycle (Figure 1). The bicycle was installed three video cameras to record information on cyclist environment. A front-view camera facilitated the detection of opposing vehicles. A rear-view high definition camera observed the overtaking vehicle approach. The third camera recorded cyclist left side to observe in detail the overtaking manoeuvre. A 10 Hz GPS tracker continuously registered the position of the instrumented bicycle along the road segment. Video and GPS data were stored in a Racelogic VBOX data logger.



Figure 1. Instrumented bicycle

On the other hand, a Laser Technology Inc. T100 laser system measured the speed of overtaking vehicles. It consisted on a couple of laser rangefinders, perpendicular to bicycle axis, one of them in the front part of the bicycle and the other in the rear (Figure 2). The sensor provides the relative speed of overtaking vehicle, after computing the time interval between the measure-

ments of the two rangefinders. Additionally, two Laser Technology Inc. S200 rangefinders measured the lateral distance to the overtaking vehicle body. The measure was averaged between both sensors to get a more reliable value. A laptop connected to the laser sensors stored the data with a frequency of 12 Hz. Two 12 V DC batteries provided power supply during the experiment.

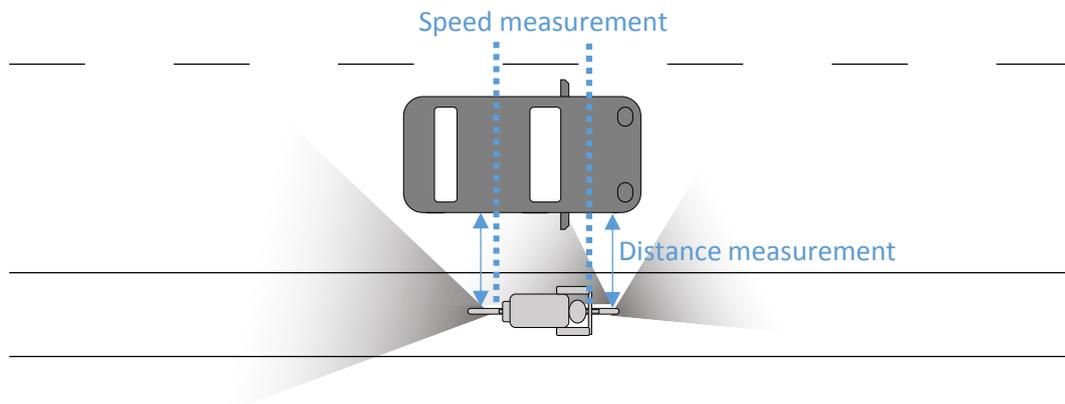


Figure 2. Field study layout

A laser pointer installed on the bicycle handlebar was oriented to the lateral marking in order to facilitate the rider to keep constant his lateral position.

Almost all the equipment was relatively small and was contained in a box attached to the bicycle frame. Laser sensors and small video cameras were installed in two small luggage racks. All the equipment was mounted in two different bicycles, a racing bicycle and a mountain-bike.

Data collection

The data collection was conducted on seven two-lane rural road segments, as seen in Table 1. Each segment was observed twice: the first day with an instrumented mountain-bike and the second with a racing instrumented bicycle, using the same equipment and configuration described above.

All data collection took place on weekdays, good weather conditions and dry pavement. During data collection, only one professional cyclist rode the instrumented bicycle. The bicycle speed was set within the range 15-25 km/h.

The lateral position adopted by the instrumented bicycle rider was the centre of the paved shoulder (or as close as to the outer edge if it did not exist).

Site	Road	AADT (veh)	Lane width (m)	Shoulder width (m)	Length (km)	Overtaking manoeuvres	
						Mountain-bike	Racing bicycle
1	CV-3005	2,635	3.50	1.50	1.2	184	86
2	CV-315	7,935	3.15	2.50	5.0	182	189
3	CV-376	4,437	3.25	0.50	6.5	105	98
4	CV-310	6,416	3.15	1.50	5.3	232	261
5	CV-333	4,053	3.05	1.10	5.5	156	153
6	CV-405	14,800	3.50	1.00	7.3	529	529
7	N-225	5,412	3.50	1.50	7.0	172	74

Table 1. Study road segments

The selection of the road segments covered a wide range of geometric characteristics, including various lane widths, shoulder widths, rolling and flat terrain. Besides, the segments covered various traffic volumes, being the average annual daily traffic (AADT) between 2635 and 14800 vehicles.

During the experiment, the bicycles rode roundtrips on the selected segments. The total distance travelled was 341 km for the mountain bike and 306 km for the racing bicycle, during 17:00 h and 14:30 h, respectively. Up to 2,950 overtaking manoeuvres were observed, being around 50% observed from the mountain bike and 50% from the racing bicycle.

Data reduction

After data collection, the laser measurement device T100 provided the timestamp of each vehicle that overtook (or crossed) the instrumented bicycle during data collection. At every overtaking or crossing event, the distance measurement devices S200 obtained the distance between the bicycle axis and the motor vehicle body (named d). On the other hand, the GPS data provided the geographic coordinates of every event and the bicycle speed (V_b). Geographic coordinates were converted to the road specific reference system (Station and direction).

By filtering all the registered data considering the value of distance d , overtaking and crossing events were separated. This classification was verified by checking in the video recording every manoeuvre. At the same time, video processing facilitated the characterization of the following variables:

- Overtaking vehicle category: sedan, van, truck, bus, motorbike, etc. This classification was aggregated to four different types, according to vehicle size (because of the potential effect of aerodynamic forces):
 - Passenger car.
 - Small van or SUV.
 - Large van.
 - Truck.
- Overtaking vehicle crosses de centreline: 1 if “yes”, 0 if “no”.
- Overtaking vehicle left lane occupation time (s), in case previous variable were “yes”.

After that, the following overtaking dynamic variables were characterized:

- Bicycle speed: V_b .
- Relative speed: dV (directly from laser speed measurement device).
- Motor vehicle speed: $V_v = V_b + dV$.
- Lateral spacing: directly from distance measurement device, d .
- Lateral clearance:
 - $c = d - \text{half handlebar width} - \text{side mirror width}$, for light vehicles and small trucks.
 - $c = d - \text{half handlebar width}$, for large trucks.

The Figure 3 shows the main distance and speed variables.

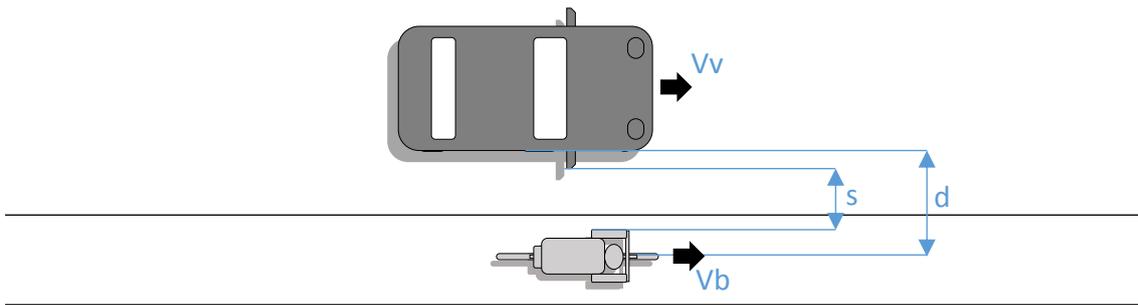


Figure 3. Lateral distance and speed-related variables

The definition of two different measures may account for the two different safety issues associated with motor vehicle overtaking, according to Ata and Langlois [15]. Firstly, lateral spacing represents the distance to the motor vehicle body and may correspond to the aerodynamic effect. Secondly, the lateral clearance is the physically space available between the motor vehicle and the bicycle, and may correspond to the collision risk.

Besides, for each data collection site, the cyclists answer a small questionnaire, in relation his subjective perception of the road segment, compared to other data collection sites. This facilitated the evaluation of the risk of each data collection site in relation to the other ones. According to this, a ranking of locations was established, from 1 (the safest) to 5 (the most dangerous) (Table 2).

Site	Road	Risk Ranking
1	CV-3005	3
2	CV-315	1
3	CV-376	3
4	CV-310	4
5	CV-333	3
6	CV-405	2
7	N-225	5

Table 2. Subjective risk perception ranking

RESULTS

The objective of this paper was to study the influence of lateral distance (either spacing or clearance) and motor vehicle speed on the subjective risk perception. Analysing this relation, the results might indicate which variable (or which combination of variables) has the most significant impact on the perception of risk.

In order to achieve this result, the values of different dynamic variables for every risk perception levels were studied. The figure shows the box-plot of the variables for each subjective risk level.

As can be seen in Figure 4, the relationship between risk perception and lateral distance (or lateral clearance) was unclear, as the most dangerous locations presented higher distances and clearances than some of the safer ones. On the other hand, the influence of speed at levels 1 to 4 was not logical, although risk level 5 did correspond with higher speeds.

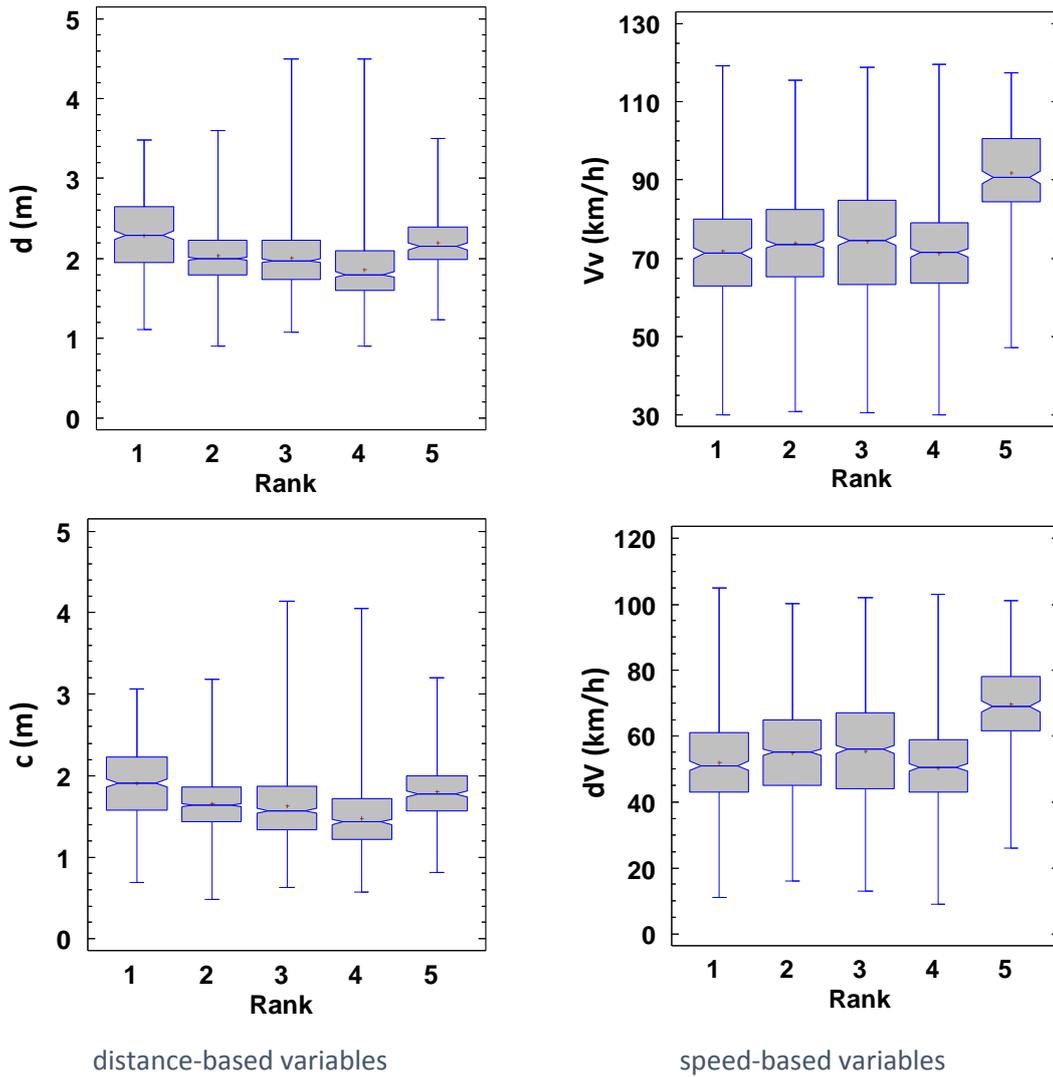


Figure 4. Individual effect of lateral distance and speed

On the other hand, the Figure 5 shows the percent of heavy vehicles that overtook the bicycle on each road segment. As can be seen, the most dangerous risk level also corresponded to a significantly higher percent of heavy vehicles.

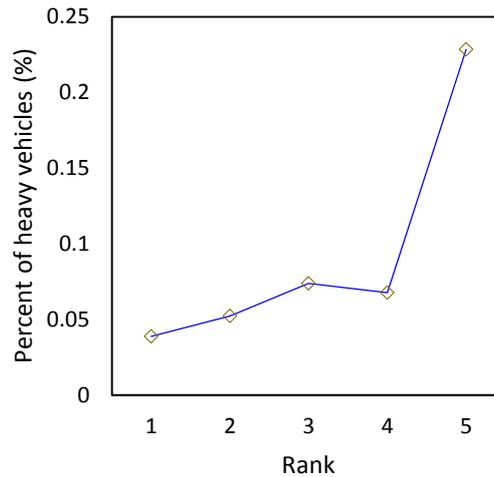


Figure 5. Effect of Percent Heavy Vehicles

From the previous analysis, the subjective risk perception might be related to lateral distance, speed and proportion of heavy vehicles. However, the individual effect of each variable was not evident. For this reason, the following analysis focused on the definition of alternative variable that combine the effect of distance, speed and size of the vehicle. According to the initial hypothesis, the aerodynamic forces between overtaking and overtaken vehicles may explain the subjective risk perception.

According to Ata and Langlois [15], the aerodynamic force increases with speed and decreases with lateral distance. It is zero for distances over approximately 3 m. Noger et al. [16] presented a similar result, calculating the lateral force according to the equation 1.

$$F_y = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_y \quad (1)$$

Where:

- F_y : lateral force.
- ρ : air density.
- V : speed of the overtaking vehicle.
- S : frontal area of the overtaking vehicle.
- C_y : dimensionless coefficient, which decrease with lateral distance.

Based on the relationship between lateral forces, lateral distance, speed of the overtaking vehicle, and size of the overtaking vehicle, the following alternative variables were calculated. Because of the absence of information about C_y and ρ , the proposed values do not represent forces, although they may be proportional to them:

1. Vv^2/d .
2. $Vv^2 \cdot (3-d)$, based on Ata and Langlois [15] and Noger et al. [16].
3. $Vv^2/d \cdot$ Frontal area.
4. $Vv^2/d \cdot$ Side area.
5. $Vv^2 \cdot (3-d) \cdot$ Frontal area.
6. $Vv^2 \cdot (3-d) \cdot$ Side area.

Different values of side area and frontal area were assigned to each vehicle category, according to their average sizes.

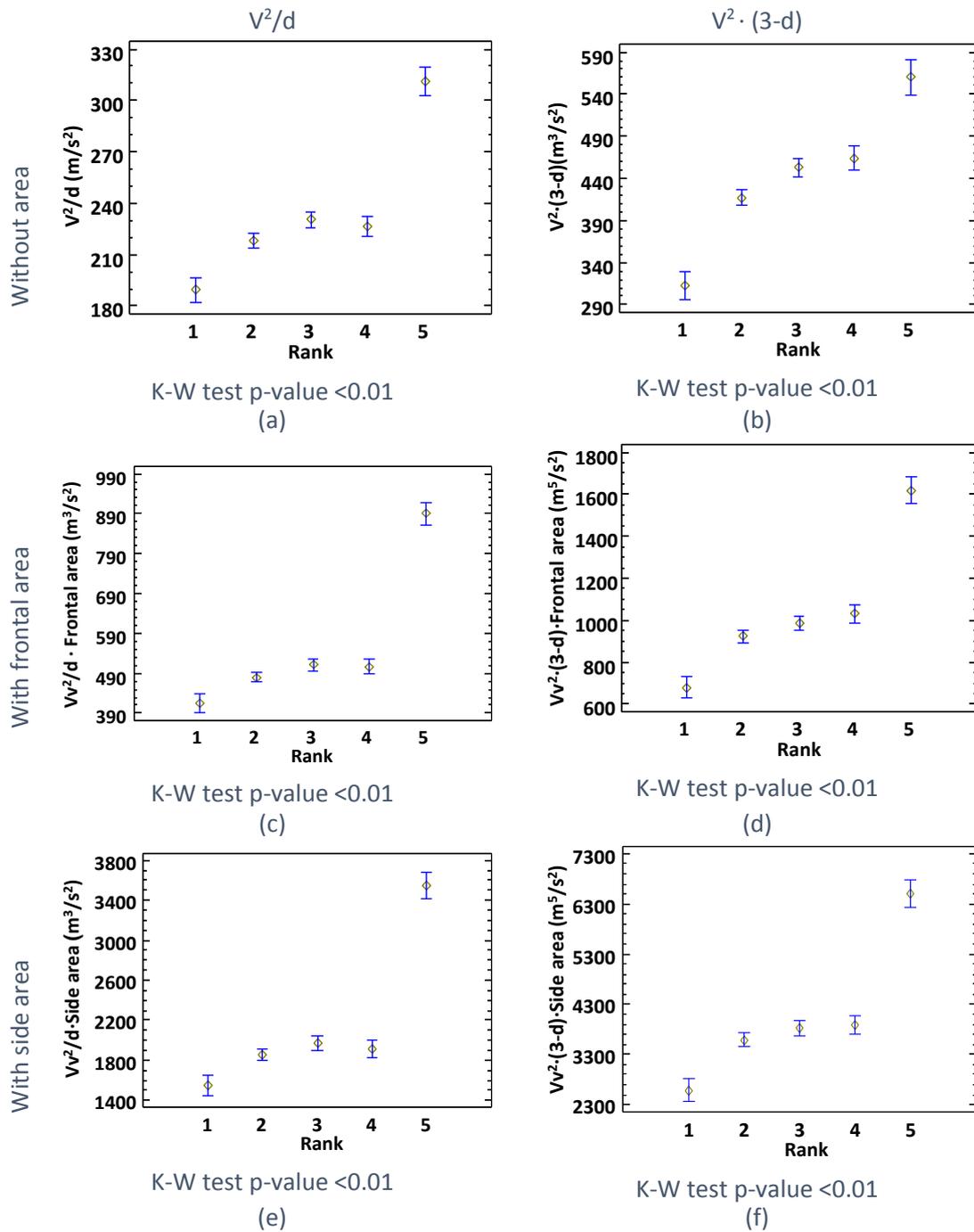


Figure 6. Combined effect of lateral distance and speed

The relationship between the dynamic (or aerodynamic variable) and the subjective risk perception of the previous variables is presented in Figure 6. LSD-intervals are plotted for each variable to show the tendencies. However, as the proposed variables did not come, in general, from normal distributions, the non-parametric Kruskal-Wallis test was used to compare the medians instead of the means.

As can be seen, the consideration of the different combinations of variables shows a more strong relationship between subjective risk perception and average dynamic characteristics of the overtaking manoeuvres. With considering the relationship of V^2/d , there are still some cases where

level 4 would have less dynamic (or aerodynamic) effect than level 3. However, using the relationship $V^2 \cdot (3-d)$, as recommended by Ata and Langlois [15] and Noger et al. [16], the aerodynamic effect increases with risk ranking.

The Kruskal-Wallis test checked the null hypothesis that the medians within each of the five levels were the same. The results showed that there were statistically different medians at the 95% confidence levels. In all cases, there were differences between level 1 and the rest, and between level 5 and the rest. Only with the relationship $V^2 \cdot (3-d)$ additional differences between levels 2 and 4 were also found.

The effect of additional factors on the selected variable $V^2 \cdot (3-d)$ was also analysed. Figure 7 shows the influence of bicycle type, road alignment and presence of opposing vehicles on the value of $Vv^2 \cdot (3-d)$. The Kruskal-Wallis test compared the medians for each level factor. The results showed a reduced but significant effect of bicycle type (being the median of $V^2 \cdot (3-d)$ slightly lower if the overtaken bicycle was a mountain-bike). This might be associated with the lower lateral spacing d if a racing bicycle was overtaken (the mean of d was 15 cm lower on racing bicycle, being 1.96 m and 2.11 m respectively).

In relation to road alignment, the median of $V^2 \cdot (3-d)$ was significantly higher for tangent sections, compared to curves. Both lateral spacing and speed were higher on tangent sections.

The effect of the presence of opposing vehicles on $V^2 \cdot (3-d)$ was not significant. The lateral spacing d was lower in presence of opposing vehicles (the mean of d was 9 cm lower, being 1.98 m and 2.07 m respectively). However, the speed of motor vehicles was reduced in presence of opposing vehicles (the mean of Vv was 3.5 km/h lower, being 74.1 km/h and 77.6 km/h in presence and in absence of opposing vehicles, respectively).

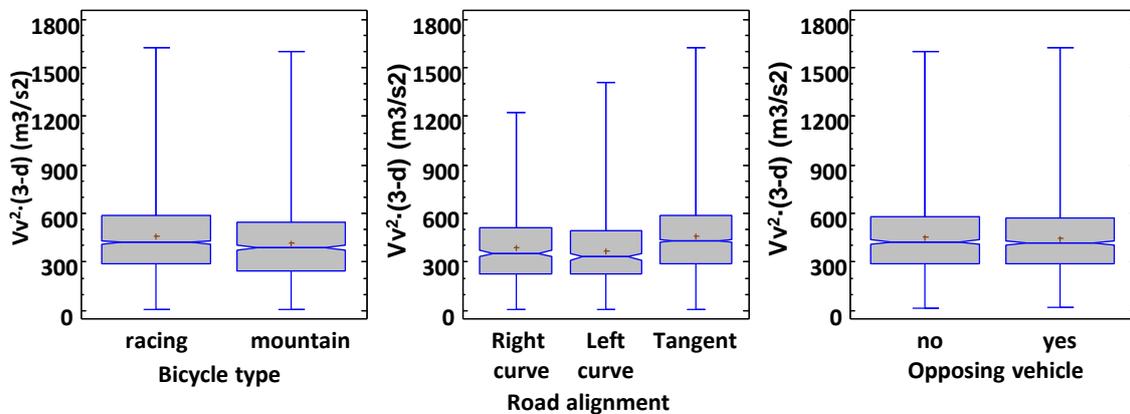


Figure 7. Effect of bicycle type, road alignment and opposing vehicle

DISCUSSION

Most countries regulate the overtaking of bicycles on two-lane rural road by establishing a minimum lateral separation between the motor vehicle. Generally, this lateral separation does not depend on speed or on vehicle type. In Spain, as well as in many other countries the minimum distance is 1.5 m. In some US states, this is equal to 3 ft (around 1 m). However, Queensland Department of Transport (Australia) [20] does recommend 1 m if motor vehicle travels under 60 km/h and 1.5 over 60 km/h.

The compliance of the Spanish regulation [1] was analysed from collected data. However, the differences between lateral spacing and lateral clearance are not taken into account in the

standard. This resulted in a 9% of noncompliance if lateral spacing is considered. However, this value increased to 36% of noncompliance if lateral clearance is taken into account.

However, most of these standards are not the result of any scientific research. They do not mention generally any scientific evidence to justify the proposed distance. The results of this research have demonstrated that the establishment of a minimum lateral distance is not enough to ensure cyclist safety.

In fact, the rider's perception was affected by a combination of parameters, being the most significant the lateral distance and the speed, as well as the proportion of heavy vehicles. Those factors are components of the aerodynamic effect of a motor vehicle passing by a bicycle, but the analysis may also take into account the physical proximity and its effect on rider subjective risk perception. The result is that there are different aerodynamic effects (and consequently different risk levels) for a given lateral separation.

The Figure 8 shows the values of the variable $Vv^2 \cdot (3-d)$ for different combinations of speed and lateral distance. This would result in an increasing risk with speed. According to the results of this research, the 1.5 m lateral separation did not provided enough safety at locations with higher mean overtaking speeds.

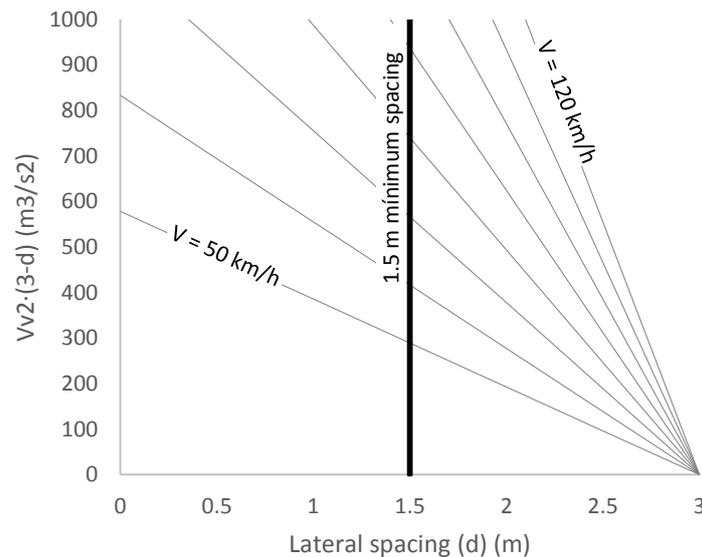


Figure 8. Lateral distance-based standard

On the other hand .Figure 9 shows the average value of $Vv^2 \cdot (3-d)$ for locations with subjective risk perception equal to 1, 3 and 5. By establishing a target risk level, a different lateral separation is required at each speed level. According to the Figure 9, the safest level is achieved at 1.5 m at 50 km/h, but it is needed up to 2.75 m at 120 km/h. If the regulation were set as a variable lateral separation (i.e. to ensure a target risk of 1, the safest, at all locations), depending on the speed, the percentage of non-compliance would have been 44% on the observed sample.

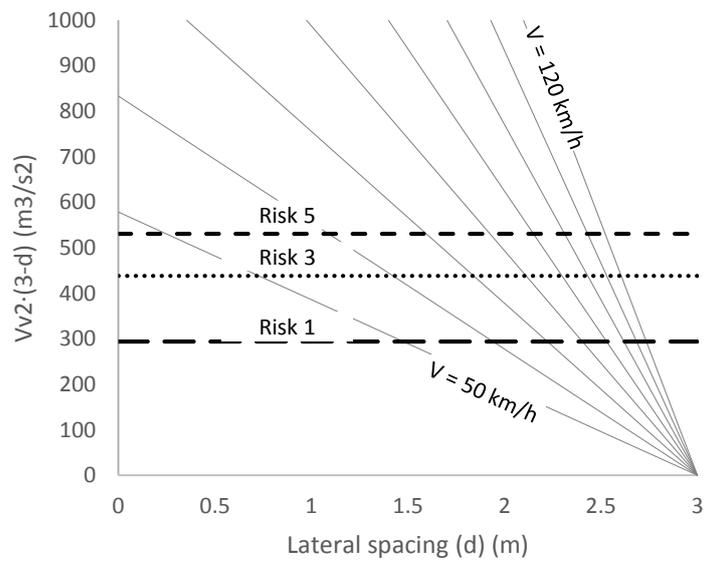


Figure 9. Perceived risk-based standard

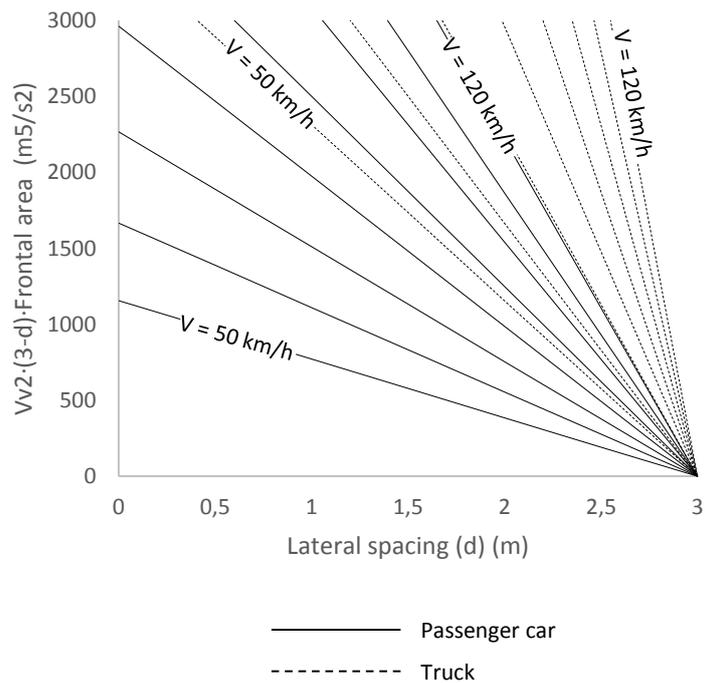


Figure 10. Effect of heavy vehicles

Besides, as seen in Figure 10, if the presence of heavy vehicle is significant, it should be noted that the aerodynamic effect would be much higher, and the minimum lateral separation should be increased.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

This research developed a methodology to study how motor vehicles overtake bicycles on two-lane rural roads. This method was based on an instrumented bicycle riding along different rural road segments, in order to observe every overtaking motor vehicle. The major contribution to previous research in this field was the addition of new variables to the overtaking manoeuvre characterization. Specifically, the new instrumented bicycle provided a more reliable measurement of the overtaking vehicle speed based on laser technology. Besides, an average rider's risk perception of each road segment was taken into account.

The results investigated the effect of lateral separation and speed on rider's risk perception. The main conclusions are as follows:

1. The lateral separation (either measured as spacing between axes or as clearance) is not enough to explain the risk associated to overtaking manoeuvres. In fact, higher risk levels were not always related, in this experiment, with lower lateral separations.
2. Higher speeds and the presence of heavy vehicles are also key factors of the affection from motor vehicles to cyclists.
3. The combination of lateral separation and speed, which is proportional to aerodynamic forces between overtaking and overtaken vehicles, showed the better correlation with the average risk perception.
4. The combined variable of lateral separation and speed was higher on tangent sections, compared to right or left curves.
5. Motor vehicle drivers reduced slightly the speed in presence of opposing traffic, when overtaking a bicycle. This may have an effect on the operation of two-lane rural roads.
6. Based on the observed sample of manoeuvres, up to a 36% of motor vehicles overtook keeping a lateral clearance lower than the minimum 1.5 m standard.

The results were compared with existing minimum lateral distance standards, showing that they are not sufficient to warrant safe overtaking manoeuvres, as they do not take into account the speed or the presence of heavy vehicles. In light of the discussion, the following recommendations were made:

1. Lateral spacing from 1.5 m (at 50 km/h) to 2.75 m (at 120 km/h) resulted in a very low risk perception.
2. Lane and shoulder widths (the total and each component) should provide enough space to allow motor vehicle drivers to exceed the previous lateral spacing.
3. This spacing should be increased if a significant heavy vehicle traffic volume is expected.
4. The regulation should define accurately whether the minimum distance corresponds to spacing or clearance, in base on the differences observed in this research.

Further work will consider the effect of lane width, shoulder width, visibility and other infrastructure related factors on overtaking manoeuvres. Besides, this work adopted average risk perception levels for each location. This should be improved by registering the risk perception for each specific manoeuvre instead. This research will provide additional scientific support to improve geometric design of rural two-lane highways. In contrast to existing regulations, a more reliable standard would require the definition of a minimum lateral separation depending on the speed. However, the application of such a standard seems quite complex. Consequently, the selection of adequate shoulder widths and the appropriate speed limit are proposed to increase safety of overtaking manoeuvres.

REFERENCES

- [1] Ministerio del Interior, Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación, 2003.
- [2] S. Boufous, L. de Rome, T. Senserrick, R. Ivers, Risk factors for severe injury in cyclists involved in traffic crashes in Victoria, Australia., *Accident; Analysis and Prevention*. 49 (2012) 404–9. doi:10.1016/j.aap.2012.03.011.
- [3] S. Tin Tin, A. Woodward, S. Ameratunga, Incidence, risk, and protective factors of bicycle crashes: findings from a prospective cohort study in New Zealand., *Preventive Medicine*. 57 (2013) 152–61. doi:10.1016/j.ypmed.2013.05.001.
- [4] J. Klassen, K. El-Basyouny, M.T. Islam, Analyzing the severity of bicycle-motor vehicle collision using spatial mixed logit models: A City of Edmonton case study, *Safety Science*. 62 (2014) 295–304. doi:10.1016/j.ssci.2013.09.007.
- [5] C. Hamann, C. Peek-Asa, On-road bicycle facilities and bicycle crashes in Iowa, 2007-2010., *Accident; Analysis and Prevention*. 56 (2013) 103–9. doi:10.1016/j.aap.2012.12.031.
- [6] J.S. Osberg, S.C. Stiles, O.K. Asare, Bicycle safety behavior in Paris and Boston, *Accident Analysis & Prevention*. 30 (1998) 679–687. doi:10.1016/S0001-4575(97)00097-3.
- [7] P.T. Savolainen, T.J. Gates, R.G. Todd, T.K. Datta, J.G. Morena, Lateral Placement of Motor Vehicles When Passing Bicyclists, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2314 (2012) 14–21. doi:10.3141/2314-03.
- [8] J.J. Kay, P.T. Savolainen, T.J. Gates, T.K. Datta, Driver behavior during bicycle passing maneuvers in response to a Share the Road sign treatment., *Accident; Analysis and Prevention*. 70C (2014) 92–99. doi:10.1016/j.aap.2014.03.009.
- [9] I. Walker, Drivers overtaking bicyclists: objective data on the effects of riding position, helmet use, vehicle type and apparent gender., *Accident; Analysis and Prevention*. 39 (2007) 417–25. doi:10.1016/j.aap.2006.08.010.
- [10] I. Walker, I. Garrard, F. Jowitt, The influence of a bicycle commuter's appearance on drivers' overtaking proximities: an on-road test of bicyclist stereotypes, high-visibility clothing and safety aids in the United Kingdom., *Accident; Analysis and Prevention*. 64 (2014) 69–77. doi:10.1016/j.aap.2013.11.007.
- [11] J.R. Chapman, D.A. Noyce, Observations of Driver Behavior During Overtaking of Bicycles on Rural Roads, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2321 (2012) 38–45. doi:10.3141/2321-06.
- [12] D.C. Love, A. Breaud, S. Burns, J. Margulies, M. Romano, R. Lawrence, Is the three-foot bicycle passing law working in Baltimore, Maryland?, *Accident; Analysis and Prevention*. 48 (2012) 451–6. doi:10.1016/j.aap.2012.03.002.

- [13] K.-H. Chuang, C.-C. Hsu, C.-H. Lai, J.-L. Doong, M.-C. Jeng, The use of a quasi-naturalistic riding method to investigate bicyclists' behaviors when motorists pass., *Accident; Analysis and Prevention*. 56 (2013) 32–41. doi:10.1016/j.aap.2013.03.029.
- [14] M. Dozza, J. Werneke, Introducing naturalistic cycling data: What factors influence bicyclists' safety in the real world?, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 24 (2014) 83–91. doi:10.1016/j.trf.2014.04.001.
- [15] M.K. Ata, R.G. Langlois, Factoring Cycling in Transportation Infrastructure : Design Considerations Based on risk Exposure, *ITE Journal*. August 201 (2011) 49–53.
- [16] C. Noger, C. REGARDIN, E. Széchenyi, Investigation of the transient aerodynamic phenomena associated with passing manoeuvres, *Journal of Fluids and Structures*. 21 (2005) 231–241. doi:10.1016/j.jfluidstructs.2005.05.013.
- [17] R.J. Corin, L. He, R.G. Dominy, A CFD investigation into the transient aerodynamic forces on overtaking road vehicle models, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 96 (2008) 1390–1411. doi:10.1016/j.jweia.2008.03.006.
- [18] D. Uystepruyst, S. Krajnović, Numerical simulation of the transient aerodynamic phenomena induced by passing manoeuvres, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 114 (2013) 62–71. doi:10.1016/j.jweia.2012.12.018.
- [19] Y. Kato, T. Iwasa, M. Matsuda, Y. Miyai, Aerodynamic Effects to a Bicycle Caused by a Passing Vehicle, *SAE Technical Papers*. (1981). doi:10.4271/811425.
- [20] Queensland Government Department of Transport and Main Roads, *Queensland Road Rules for Cyclists*, 2013.

García, A., Doménech, A., Llorca, C., Agustín, F., Ferrer, V., 2015. Effects of Road Geometry on the Interaction Between Cyclists and Vehicles on Two-Lane Rural Highways. 5th International Symposium on Highway Geometric Design, Vancouver, Canadá.

1 **EFFECTS OF ROAD GEOMETRY ON THE INTERACTION BETWEEN CYCLISTS AND**
2 **VEHICLES ON TWO-LANE RURAL HIGHWAYS**

3
4 Alfredo García

5 Professor

6 Highway Engineering Research Group (HERG)

7 Universitat Politècnica de València

8 Camino de Vera, s/n, 46022, Spain

9 agarciag@tra.upv.es

10
11 Antonio Ángel Domènech

12 Research Assistant

13 Highway Engineering Research Group (HERG)

14 Universitat Politècnica de València

15 Camino de Vera, s/n, 46022, Spain

16 annedom@cam.upv.es

17
18 Carlos Llorca

19 PhD Candidate

20 Highway Engineering Research Group (HERG)

21 Universitat Politècnica de València

22 Camino de Vera, s/n, 46022, Spain

23 carlloga@cam.upv.es

24
25 Fernando Agustín Gómez

26 Research Assistant

27 Highway Engineering Research Group (HERG)

28 Universitat Politècnica de València

29 Camino de Vera, s/n, 46022, Spain

30 feraggio@cam.upv.es

31
32 Vicente Ferrer

33 PhD Student

34 Highway Engineering Research Group (HERG)

35 Universitat Politècnica de València

36 Camino de Vera, s/n, 46022, Spain

37 viferp1@tra.upv.es

38 **Word count:**

39 Abstract: 265

40 Manuscript: 5079

41 Tables: 1x250 = 250

42 Figures: 8x250 = 2000

43 Total: 7594

1 **ABSTRACT**

2
3 Two-lane rural roads in Spain accommodate significant bicycle traffic volumes, mainly associated
4 to sport and leisure activities. Bicycles must ride on the paved shoulder or on the outer edge of
5 the road. Motor vehicles' higher speed, weight and volume represent a serious safety concern
6 when they pass a bicycle.

7 This research characterized those passing maneuvers in the passing lateral clearance between
8 motor vehicle and bicycle, as well as in the motor vehicle speed. A bicyclist rode round trip on
9 seven two-lane rural road segments in Valencia (Spain), observing every passing maneuver
10 involving a motor vehicle from two instrumented bicycles. The bicycles were installed with two
11 laser rangefinders, a laser speed sensor, a GPS tracker and 3 video cameras. The instrumented
12 bicycle observed and characterized 2928 motor vehicles passing it. The speed of the bicycle was
13 set between 15 and 25 km/h, and it was centered on the paved shoulder, or as close as possible to
14 the outer edge.

15 The effect of road geometry (lane and shoulders, alignment) was researched. The results showed
16 that median passing lateral clearance increased with road width, from a minimum of 1.5 m on
17 roads with 0.5 m shoulder to 2 m on roads with 2.5 m shoulder. Moreover, it was higher on left
18 curves and lower in right curves, compared to tangent elements. Up to 50% of motor vehicle
19 drivers passed under the legal 1.5 m minimum distance on the narrowest road, according to
20 Spanish traffic rules.

21 The results of this research identified potentially dangerous geometrical factors. These will
22 suggest criteria to take into account bicycle traffic in road design.

1 INTRODUCTION

2
3 Two-lane rural roads in Spain accommodate significant bicycle traffic volumes, mainly associated
4 to sport and leisure activities. This research focuses on two-lane rural roads. According to Spanish
5 traffic regulations (1), cyclists must ride as close as possible to the outer edge of the road, on the
6 shoulder if it exists. Motor vehicles that pass cyclists must keep a minimum lateral distance of 1.5
7 m.

8
9 According to Spanish Traffic Directorate, there were 5,835 accidents with victims involving
10 bicycles in Spain in 2013. Only 26% of accidents occurred in rural roads. However, 46% of severe
11 injuries (297 of 646 severe injuries) corresponded to rural roads. Moreover, the proportion of
12 deaths in rural roads increased to 65% (45 of 69 deaths).

13
14 Despite the higher use of bicycles on urban environments, cycling on rural roads represents a
15 serious safety concern, affecting around 45 deaths a year in Spain. Relatively, the severity of
16 crashes involving bicycles on rural roads is much higher.

17
18 Previous research reported this higher severity. Boufous et al. (2) found that, although only a 5%
19 of bicycle crashes in Victoria region (Australia), their severity was higher (46% of crashes
20 involved severe injuries, compared to 33% on urban crashes). Those authors explained that the
21 cause of this result was the higher speed of motor vehicles. Tin Tin et al. (3) reported lower risk
22 on rural roads compared to urban streets, although they not analyzed the severity.

23
24 Despite the higher relative severity of bicycle crashes on rural roads, there have been very few
25 studies, compared to urban cycling safety. Results of urban safety analyses (among many others,
26 Klassen et al. (4) Hamann and Peek-Asa (5), or Osberg et al. (6)) cannot be extrapolated to passing
27 maneuvers of motor vehicles and bicycles on rural roads.

28
29 For this reason, some researchers focused on the observation of passing maneuvers on rural road
30 segments. Savolainen et al. (7) installed video cameras on high masts to observe the interaction
31 between motor vehicles and bicycles on a rural road tangent section in United States. They
32 analyzed how frequent motor vehicles crossed the centerline, as a function of the position of the
33 cyclist on the road shoulders, the presence of opposing traffic or the existence of centerline rumble
34 strips. However, they did not measure accurately the lateral separation between the bicycle and
35 the motor vehicle at the passing time. Later, Kay et al. (8) found that the average vehicular speeds
36 were slightly reduced by the presence of a “Share the Road” sign treatment.

37
38 Alternatively, Walker (9) and Walker et al. (10) developed an instrumented bicycle to observe
39 motor vehicles passing it. This bicycle was equipped with an ultrasonic distance measurement
40 sensor and a video camera. These authors investigated the influence of using helmet as well as
41 the effect of cyclist gender, cyclist clothing and bicycle position on the mean passing proximity
42 (lateral distance between the motor vehicle and the bicycle). A sample of 2,355 maneuvers was
43 characterized. The absence of helmet was related with slightly higher passing proximities,
44 although a higher effect was associated with the bicycle distance from road edge. The higher this
45 distance, the lower the mean passing proximity (from 1.40 m if the bicycle was only 0.25 m from
46 the outer edge to 1.2 m if it rode 1.25 m from it).

47
48 Chapman and Noyce (11) used also an instrumented bicycle to observe passing maneuvers on
49 two-lane rural roads. This bicycle was equipped with two cameras and an ultrasonic sensor to
50 measure the distance to the passing vehicles. Observing 1,151 maneuvers the authors investigated
51 the effect of motor vehicle type and existence of shoulder in centerline violations. Those

1 violations were more frequent on highways without paved shoulders. The violations of the 3 feet
2 (1 m) lateral distance between motor vehicle and bicycle (named lateral clearance) were very rare.
3 The study did not analyze the frequency distribution of the lateral clearance, though.

4
5 Love et al. (12) studied the compliance of the three-foot (1 m) lateral separation regulation in
6 Baltimore, Maryland. They evaluated the proportion of motor vehicles that kept that distance,
7 although all the experiment took place on urban streets.

8
9 The above-cited studies only considered the distance between motor vehicle and bicycle.
10 However, the speed of passing vehicles was not measured. The instrumented bicycles (as well as
11 video observations) were unable to provide a measurement of this variable. According to Boufous
12 et al. (2), the higher severity of rural road accidents may be related to the higher speed, but
13 previous observational studies did not measure it. The technical difficulties of measuring the
14 speed of a passing vehicle might explain why it was not measured in the past. In fact, other authors
15 used instrumented bicycles in urban safety studies, but did not provide a reliable method for
16 passing vehicle speeds characterization (Chuang et al. (13) or Dozza and Werneke (14)).

17
18 However, Ata and Langlois (15) did detect the influence the relationship between passing vehicle
19 speed and lateral clearance. Although this research was focused on urban streets and there was
20 not detailed data on passing maneuvers, the authors identified the collision risk as the combination
21 of two factors: common space occupancy and aerodynamic effect of trucks or buses passing a
22 cyclist. The effect of aerodynamic forces depended on both the lateral distance and the speed of
23 the motor vehicle. This model (16) showed that different combinations of speed and clearance
24 generated the same aerodynamic forces, meaning that the lateral separation was not the only
25 influential factor.

26
27 Other studies, such as Noger et al. (17), Corin et al. (18), and Uystepruystand and Krajnovic (19)
28 investigated aerodynamic forces between passing and passed motor vehicles. Their results also
29 state that aerodynamic forces were proportional to the square of the passing vehicle speed and
30 decrease with lateral clearance. As they only focused on passing between motor vehicles, the
31 results cannot be easily applied to bicycles. Only Kato et al. (20) investigated the passing process
32 involving bicycles using experimental and numerical tests. However, this study only analyzed the
33 evolution of aerodynamic forces during the maneuver, without testing the influence of speed or
34 distance between the interacting bodies.

35
36 Previous research did not investigate the effect of road geometry (cross section and alignment)
37 on passing maneuvers involving bicycles. Consequently, design guidelines do not take into
38 account bicycle traffic. The selection of lane and shoulder widths, as well as the required sight
39 distance should depend also on the presence of bicycles. The major contribution of this paper was
40 the characterization of lateral clearance, left lane occupation and motor vehicle speeds in a sample
41 of two-lane rural roads with diverse geometrical characteristics.

42 **OBJECTIVES**

43
44
45 The goal of this study was the analysis on the effect of road geometry on motor vehicles passing
46 bicycles. The specific objectives were:

- 47 1. Development of a new methodology to observe passing maneuvers from an instrumented
48 bicycle and collection of data on a wide sample of two-lane rural road, with different lane
49 and shoulder characteristics.
- 50 2. Comparison of passing lateral separation and speed across the different road segments.
- 51 3. Comparison of 1.5 m minimum distance compliance across the different road segments.

4. Analysis on left lane occupation frequency and time across the different road segments.
5. Analysis on passing vehicle speed and the relation with free-flow speed.
6. Identification of factors that affect road safety of motor vehicles passing bicycles.

METHOD

The observation of passing maneuvers was carried out from an instrumented bicycle. An amateur cyclist rode the bicycle on seven rural road segments, resulting in the characterization of each motor vehicle passing it (21). The cyclist rode roundtrips along the segments during the data collection.

Instrumented bicycle

This research started with the development of a new, versatile, instrumented bicycle (Figure 1). The bicycle was equipped with three video cameras to record information on cyclist environment. A front-view camera facilitated the detection of opposing vehicles. A rear-view high definition camera observed the passing vehicle approach. The third camera recorded cyclist left side to observe in detail the passing maneuver. A 10 Hz GPS tracker continuously registered the position of the instrumented bicycle along the road segment. Video and GPS data were stored in a Racelogic VBOX data logger.



Figure 1. Instrumented bicycle

On the other hand, a Laser Technology Inc. T100 laser system measured the speed of passing vehicles. It consisted on a couple of laser rangefinders, perpendicular to bicycle axis, one of them in the front part of the bicycle and the other in the rear. The sensor provides the relative speed of passing vehicle, after computing the time interval between the measurements of the two rangefinders. Additionally, two Laser Technology Inc. S200 rangefinders measured the lateral distance to the passing vehicle body. The measure was averaged between both sensors to get a more reliable value. A laptop connected to the laser sensors stored the data with a frequency of 12 Hz. Two 12 V DC batteries provided power supply during the experiment. A laser pointer

1 installed on the bicycle handlebar was oriented to the lateral marking in order to facilitate the rider
 2 to keep constant his lateral position.

3
 4 Almost all the equipment was relatively small and was contained in a box attached to the bicycle
 5 frame. Laser sensors and small video cameras were installed in two small luggage racks. All the
 6 equipment was mounted in two different bicycles, a racing bicycle and a mountain-bike.

7
 8 **Data collection**

9
 10 The data collection was conducted on seven two-lane rural road segments, as seen in Table 1.
 11 Each segment was observed twice: the first day with an instrumented mountain-bike and the
 12 second with a racing instrumented bicycle, using the same equipment and configuration described
 13 above.

14
 15 All data collection took place on weekdays, good weather conditions and dry pavement. During
 16 data collection the bicycle speed was set within the range 15-25 km/h (a usual speed on flat
 17 terrain).

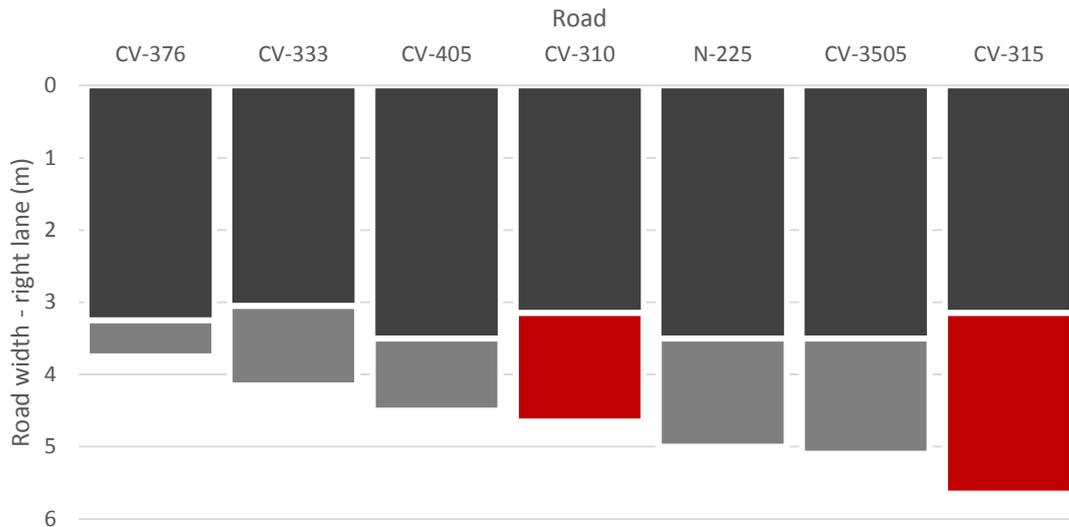
18
 19 The lateral position adopted by the instrumented bicycle rider was the center of the paved shoulder
 20 (or as close as to the outer edge if it did not exist).

21

Road	AADT (veh)	Lane width (m)	Shoulder width (m)	Length (km)	Passing maneuvers		Passing vehicle frequency (veh/h)	Opposing vehicle frequency (veh/h)
					Racing bicycles	Mountain bike		
1 CV-376	4,437	3.25	0.50	6.0	98	105	78.7	125.1
2 CV-333	4,053	3.05	1.10	7.9	153	156	94.1	191.6
3 CV-405	14,800	3.50	1.00	5.0	529	529	51.6	97.1
4 CV-310	6,416	3.15	1.50	5.3	261	232	58.2	140.9
5 N-225	5,412	3.50	1.50	3.5	74	172	39.5	77.5
6 CV-3505	2,635	3.50	1.60	1.2	86	183	50.9	86.2
7 CV-315	7,935	3.15	2.50	5.0	189	182	185.1	346.9

22 **Table 1. Studied road segments**

23 In this paper, the order of the selected road segments depended on road platform width (sum of
 24 lane and shoulder widths) to facilitate the interpretation of the results. According to this, the
 25 location 1 is the narrowest and the location 7, the widest, as seen in Figure 2. The red-colored
 26 shoulders corresponded to the locations with red-painted paved shoulder.



1
2 **Figure 2. Lane and shoulder widths**

3 During the experiment, the bicycles rode roundtrips on the selected segments. The total distance
4 travelled was 341 km for the mountain bike and 306 km for the racing bicycle, during 17:00 h
5 and 14:30 h, respectively. Up to 2,950 passing maneuvers were observed, being around 50%
6 observed from the mountain bike and 50% from the racing bicycle.

7
8 **Data reduction**

9
10 After data collection, the laser measurement device T100 provided the timestamp of each vehicle
11 that passed (or crossed) the instrumented bicycle during data collection. At every passing or
12 crossing event, the distance measurement devices S200 obtained the distance between the bicycle
13 axis and the motor vehicle body (named s). On the other hand, the GPS data provided the
14 geographic coordinates of every event and the bicycle speed (V_b). Geographic coordinates were
15 converted to the road specific reference system (Station and direction).

16
17 By filtering all the registered data considering the value of distance s , passing and crossing events
18 were separated. This classification was verified by checking in the video recording every
19 maneuver. At the same time, video processing facilitated the characterization of the following
20 variables:

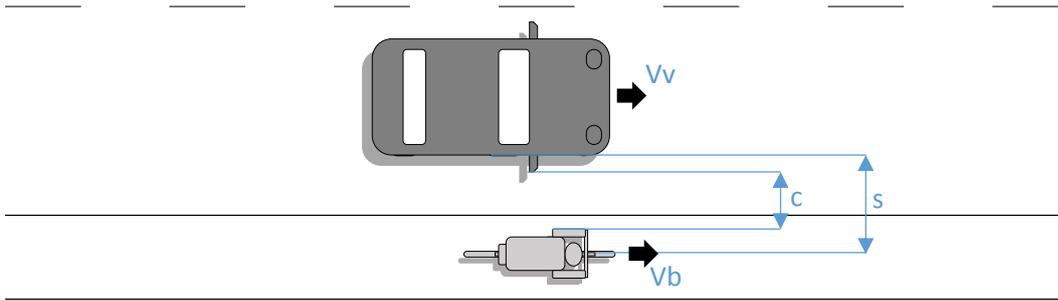
- 21
22
- Passing vehicle left lane occupation (binary).
 - Passing vehicle left lane occupation time (s).
- 23
24

25 After that, the following passing dynamic variables were characterized:

- 26
- Bicycle speed: V_b .
 - Relative speed: $V_v - V_b$ (directly from laser speed device).
 - Motor vehicle speed: V_v .
 - Lateral spacing: directly from distance measurement device, s .
 - Lateral clearance:
 - $c = s - \text{half handlebar width} - \text{side mirror width}$, for light vehicles and small trucks.
 - $c = s - \text{half handlebar width}$, for large trucks.
- 27
28
29
30
31
32
33
34

35 The Figure 3 shows the main distance and speed variables.

1



2
3

4 **Figure 3. Lateral distance and speed-related variables**

5 According to Ata and Langlois (15), lateral spacing would represent the distance to the motor
6 vehicle body and may correspond to the aerodynamic effect. Secondly, the lateral clearance is the
7 physically space available between the motor vehicle and the bicycle, and may correspond to the
8 collision risk.

9

10 **ANALYSIS**

11 This section compared the main kinematic variables of passing maneuvers across different
12 locations, in order study how road geometrical characteristics affected them.

13

14 **Lateral clearance**

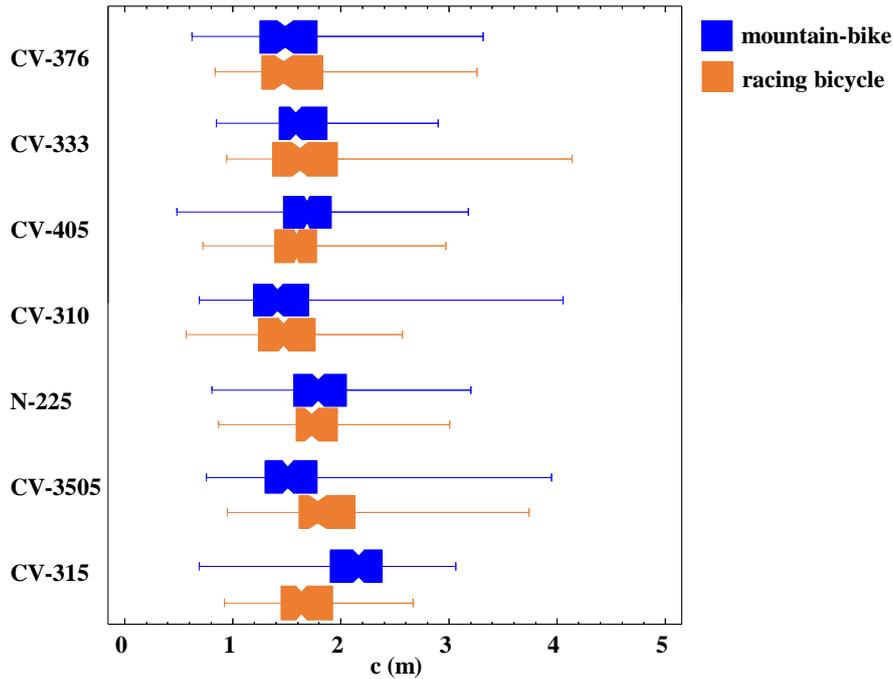
15 The distance between motor vehicle and cyclist (lateral clearance) is fundamental to analyze
16 passing maneuvers, since most of criteria are based on it. Figure 4 shows the box plot of the lateral
17 clearance by location and bicycle type. It shows the differences on the median and distribution of
18 lateral clearance at each location. Differences among the medians were checked by using the
19 nonparametric Kruskal Wallis (K-W) test, as lateral clearance did not came from a normal
20 distribution, at the 95% confidence level. K-W test p-value under 0.001 showed differences
21 among the medians.

22

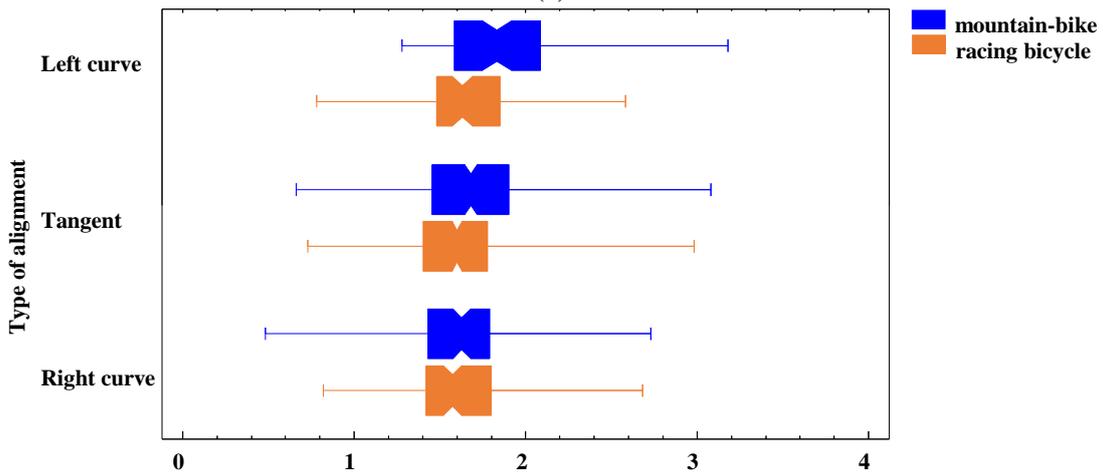
23 Generally, lateral clearance increased with the sum of lane and shoulder width, being centered
24 between 1.52 m and 2.14 m (note that the locations are ordered by this sum). With respect of
25 bicycle type, results did not show any clear tendency, except of a higher dispersion of values of
26 mountain bike maneuvers. Depending on the location, the clearance was higher with one bicycle
27 type or the other.

28

1



(a)



(b) Effect of road alignment in location 3

2 **Figure 4. Lateral clearance by location and alignment**

3 Up to 73% of maneuvers took place on tangent elements, while 12% and 15% took place on left
 4 and right curves, respectively. For this reason, the analysis of the effect of alignment only was
 5 possible in location 3, due to the high number of observations. The lateral clearance was
 6 significantly higher at left curves, and slightly lower at right curves. Riding the mountain bike,
 7 there were statistically significant differences among the medians of lateral clearance (K-W test
 8 p-value < 0.001), being the difference higher than 30 cm between left and right curves. A similar
 9 tendency was detected from the racing bicycle, although it was not statistically significant at the
 10 95% confidence level (K-W test p-value = 0.276).

11

12 **Minimum 1.5 m-criterion compliance**

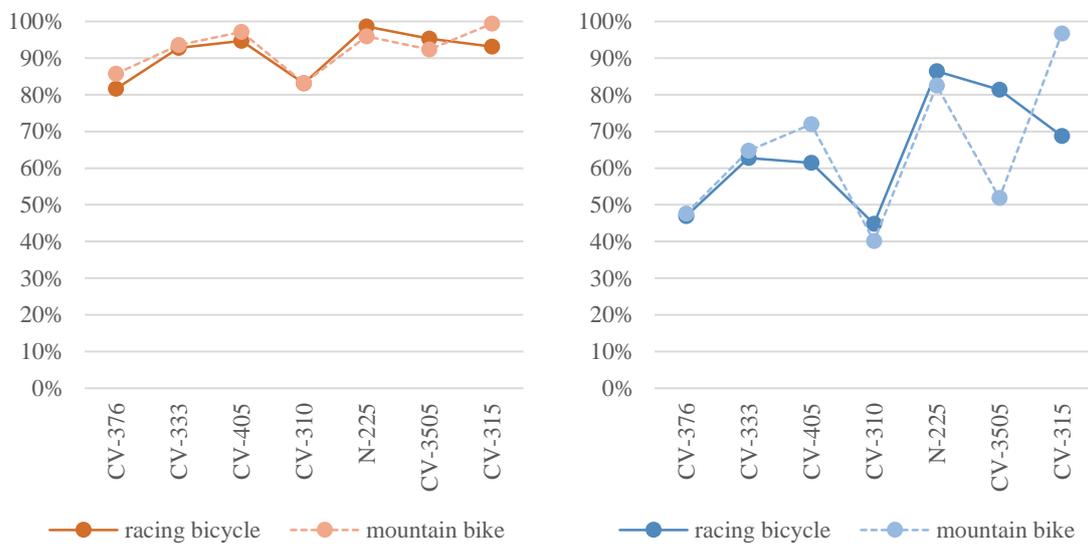
13 After describing the values of lateral clearance, the compliance of the 1.5 m-criterion (valid in
 14 Spain, as well as in many other European countries) is shown in Figure 5. The Spanish regulations
 15 did not specify if the lateral distance has to be measured between bicycle axis and motor vehicle

body (spacing, as shown in Figure 5a) or between inner edges of the vehicle and the bicycle (clearance, as shown in Figure 5b).

Due to the ambiguity in the 1.5 m criterion, the noncompliance percentages vary significantly between both cases, being always over 80% if lateral spacing is used, and always under 80% if lateral clearance is used.

Following the same tendency of Figure 4, the 1.5 m-criterion compliance increased with the sum of width and shoulder width, especially when the clearance is considered. The compliance percentage increased from 50% in the narrowest roads (CV-376) to 85% in the widest (CV-315). The fourth location (CV-310) shown an unexpected value of criterion compliance, equivalent to a narrower road. The reason behind this may be a narrow lane width (3 m) or the shoulder pavement color (red).

Again, the differences between bicycle types did not follow any pattern.



(a) by lateral spacing (s)

(b) by lateral clearance (c)

16 **Figure 5. Compliance of the 1.5 m-criterion**

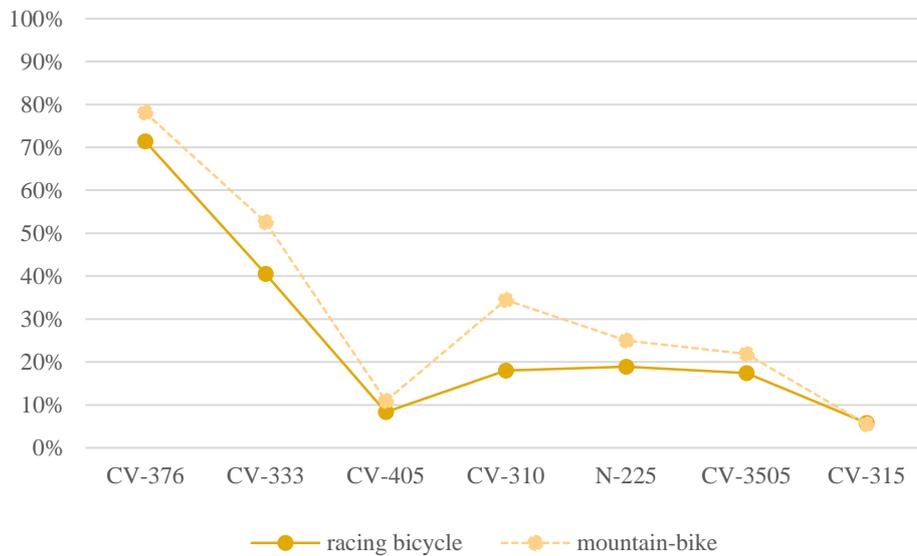
Based on this result, a linear regression model was estimated to predict the percentage of vehicles that complied the criteria (based on clearance). The model tried to include both the effect of road platform and frequency of opposing vehicles. It is presented in equation 1. The R-squared of 31% showed a relatively weak relationship between the output variable and the platform width, for the sample of 14 data collection sessions (7 for each bicycle type). The effect of opposing vehicles frequency was not significant at the 95% confidence level. An increase in platform width predicts an increase of compliance of the criteria.

$$\% \text{Compliance} = -0.1622 + 0.1732 \cdot \text{Platform width (m)} \quad (1)$$

26 Left lane occupation

Apart from the interaction between bicycle and passing motor vehicle, there is a potential interaction with opposing motor vehicles flow. To keep sufficient lateral clearance to the bicycle, it is frequent that passing vehicles occupy the opposing lane. This occupation depends strongly on the presence of opposing vehicles.

1 Figure 6 shows the percentage of passing maneuvers in which passing vehicle entered the
 2 opposing lane. In general, this number decreases with the sum of lane and shoulder widths. On
 3 the narrowest cross-section road (CV-376) the percentage of vehicles that occupied the opposing
 4 lane was up to 80%. On the other hand, the widest road presented a very low left lane occupation
 5 percentage (around 5%). The third location (CV-405) showed a rare value of this percentage.
 6 Such an unexpected low frequency of left lane occupation might be associated with the
 7 significantly higher traffic volume of this location (14,800 veh/day).



10 **Figure 6. Percent of vehicles occupying left lane when passing cyclists**

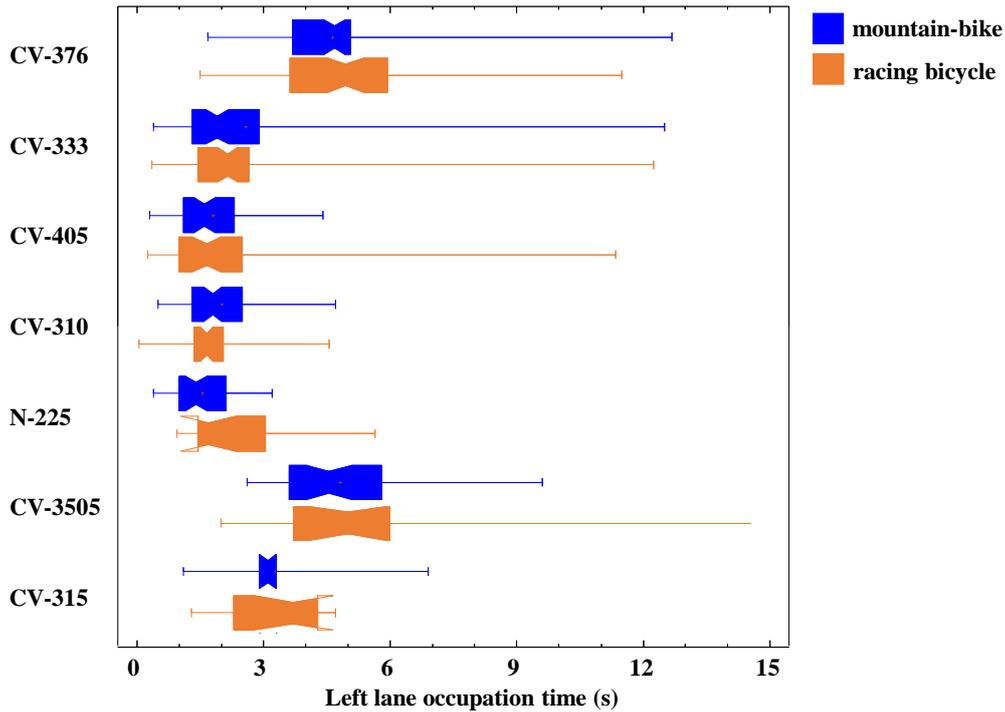
11
 12
 13 Based on this result, a linear regression model was estimated to predict the percentage of vehicles
 14 that occupied the centerline. The model included both the effect of road platform and frequency
 15 of opposing vehicles. It is presented in equation 2. The R-squared of 92% showed a strong
 16 relationship between the variables, for the sample of 14 data collection sessions (7 for each bicycle
 17 type).

$$18 \quad \% \text{Left lane occupation} = 1.9331 - 0.3099 \cdot \text{Platform width (m)} - 0.0012 \cdot \text{Opposing vehicles frequency (veh/h)} \quad (2)$$

19
 20 As can be interpreted from the model, an increase of platform width or opposing vehicle
 21 frequency reduces on average the proportion of maneuvers that require to occupy the left lane.

22
 23 Despite the higher correlation showed by this model, the analysis of individual decisions of left
 24 lane occupation did not find any interesting results. This was checked by estimating a probit
 25 model for individual decisions (binary model) in function of the geometrical or traffic
 26 characteristics. However, no statistically significant models were found.

1



2

3

Figure 7. Left lane occupation time

4

5

6

7

8

9

10

On the other hand, Figure 7 shows the box plot of left lane occupation time (for the cases it was observed). K-S test p-values under 0.001 detects a significant difference among the medians, at the 95% confidence level. As can be seen, either the lower traffic volumes (CV-3505) (mean of 4.81 s and 6.25 s for mountain bike and racing bicycle, respectively) or the narrow road platform (CV-376) (4.64 s and 5.47 s for mountain bike and racing bicycle, respectively) increased the left lane occupation time.

11

Motor vehicle speed

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

Apart from the lateral position of the passing vehicle, which determines the lateral clearance or spacing, another key issue of passing maneuver was the speed of passing vehicles. As the sample of maneuvers was located in a variety of road elements, such as tangent and curves, the passing vehicle speeds were compared to the average free-flow speeds on the same locations.

Free-flow speeds along the selected segments were extracted from opposing vehicle data. As the instrumented bicycle did not affect opposing traffic flow, each oncoming vehicle speed was measured. Those values were located along the road segments. Only free-flow oncoming vehicles were considered (with a gap over 5 seconds to the previous vehicle). For each measurement, an average speed was calculated considering the measured vehicle and the closest eight ones. This procedure obtained a smoothed average speed profile of the selected segments.

24

25

26

27

28

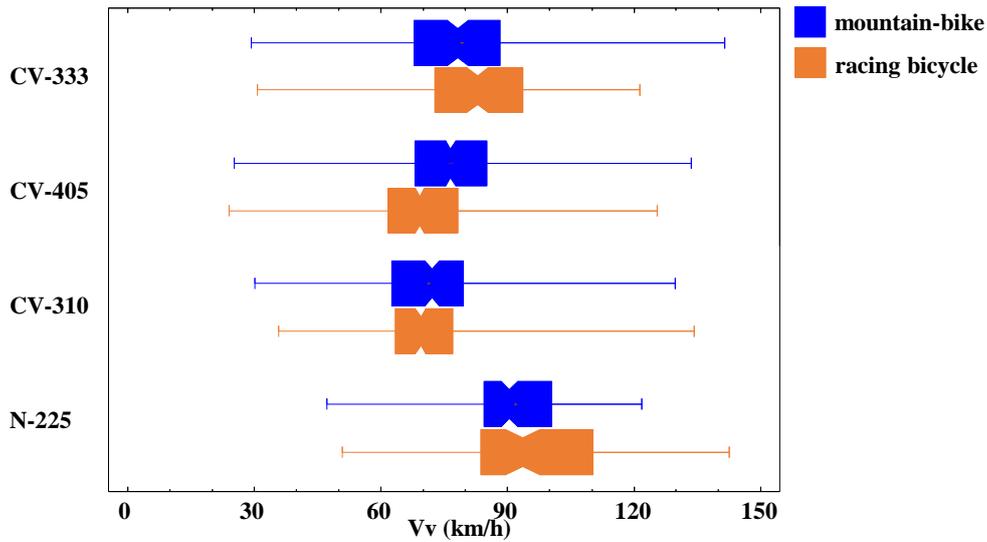
29

30

31

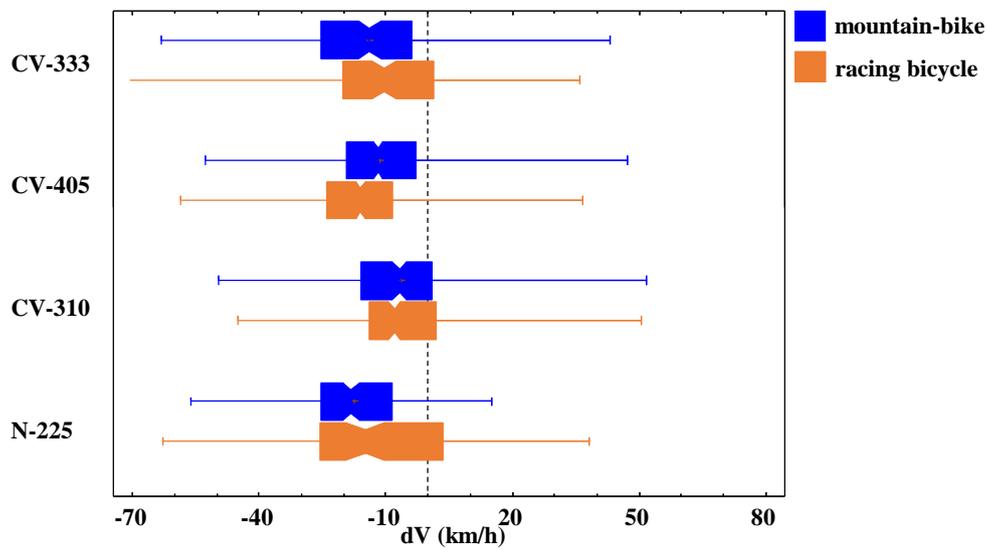
After that, each passing vehicle speed was compared with the average speed profile (at the same direction, obtained from the instrumented bicycle when it rode on the opposing direction). The difference between passing speed V_v and average speed was calculated, and defined as dV (km/h). Figure 8a shows the box plot for passing vehicle speed, and Figure 8b, for speed difference at four locations. The rest of locations did not have enough free-flow vehicle data to construct a speed profile. Both V_v and dV variables followed normal distributions, as verified by the corresponding normal probability plots. Therefore, the ANOVA tests showed differences in their means among locations, being p-values under 0.001 in both cases.

1
2



3
4
5

(a) Passing vehicle speed



6
7

(b) Speed difference

8

Figure 8. Passing vehicle and bicycle speeds

9

As can be seen in Figure 8, the presence of bicycles resulted in a general reduction of the speed of motor vehicles, because the average values of dV were negative, ranging from -14.7 km/h (N-225) to -5.74 km/h (CV-310).

10

11

12

13

The speed reduction was not uniform, though. Location CV-310 presented the higher values of dV , showing a speed reduction closer to zero (vertical dashed line). In general, higher speed reductions were associated with higher passing vehicle speeds (the mean was 94 km/h on N-225, while 71.69 km/h on CV-310). No pattern was identified for the effect of bicycle type.

14

15

16

17

18

19

20

21

1 DISCUSSION

2
3 This research compared passing maneuvers involving a motor vehicle and a bicycle among seven
4 two-lane rural roads, with different geometrical characteristics, such as lane width, shoulder width
5 or shoulder pavement color. This issue was not deeply analyzed by previous research works,
6 which only characterize passing maneuvers by the lateral distance between the users on a limited
7 two-lane rural road sample. On the contrary, the present results identified potentially dangerous
8 geometrical characteristics, which affected negatively to cyclist safety.

9
10 A higher road platform width (the sum of lane and shoulder width) resulted, in general, in higher
11 clearances between the motor vehicle and the bicycle. The median of lateral clearance was around
12 1.5 m on the narrowest locations (0.5 m width shoulders), meaning that half of passing vehicles
13 did not comply the current regulations. On the other contrary, the compliance of the criterion
14 increased significantly with road platform width, being the average clearance almost 2 m on the
15 widest road (2.5 m width paved shoulders). In general, this result agrees with Walker (10), who
16 observed an increasing lateral clearance when cyclist circulated close to the motor vehicle lane.
17 However, Chapman and Noyce (11) did not describe any effect of the presence of bicycle lane on
18 paved shoulders.

19
20 Despite their large difference between both variables, the current Spanish criterion does not state
21 whether the 1.5 m value corresponds to lateral spacing (between bicycle axis and vehicle body)
22 or to lateral clearance (between inner edges of both road users). The comparison between two
23 approaches showed strong differences in the percentage of noncompliant maneuvers, being in
24 general under 20% if lateral spacing was considered, and between 50% and 20% if lateral
25 clearance was considered. Chapman and Noyce (11) characterized a much higher percentage of
26 compliance (around 99%), although Wisconsin rules (where the study took place) establishes a 1
27 m-criterion. Besides, no information on which variable was compared (either spacing or
28 clearance) was provided by those authors.

29
30 Left lane occupation was also characterized. It was less frequent and shorter in the locations with
31 higher traffic volumes, although this was not associated with unexpected lower lateral clearances.
32 On the contrary, it was more frequent (up to a 75% of cases) and longer (median of 5 s) in the
33 narrowest location (0.5 m width shoulders). In Spain, left lane occupation is allowed by the
34 regulations, even on no-passing zones, as far as motor vehicle drivers performs the maneuver with
35 safety. Chapman and Noyce (11) analyze left lane occupation as violations, according to local
36 rules. In that study, the percentage of left lane occupation was 54% without shoulders and 11%
37 with shoulders.

38
39 Lastly, the speed of motor vehicles, as well as the difference between it and the average free-flow
40 speeds at the same locations revealed that, in most of cases, passing vehicles circulated under the
41 average free-flow speed. It means that the presence of bicycles involved some speed reduction.
42 This has a potential influence on two-lane rural road traffic operation, especially with traffic
43 volumes close to the capacity. The speed of passing vehicles was not considered in previous
44 research on this topic.

45
46 For this reason, several geometrical and operational characteristics were identified as potentially
47 dangerous factors for bicycle circulation on two-lane rural roads. Among others, very low
48 shoulder widths (under 1.5 m), as well as higher traffic volumes (over 14,000 veh/day) may
49 facilitate the observation of passing maneuvers in which lateral clearance is very low (and does
50 not comply the current standard) or in which left lane occupation time generates conflicts with

1 oncoming traffic. Moreover, the results suggested that right curves might concentrate the
2 maneuvers with lower lateral clearance, especially when comparing them to left curves.

3 Linear regression models verified the effect of platform width on the percentage of compliant
4 maneuvers; as well as the effect of traffic on left lane occupation proportion. However, these
5 models cannot be extrapolated and cannot be used to predict the same outputs in other locations.

6
7 Both lateral distance and percent of compliance maneuvers presented an unexpected value at the
8 location CV-310, which was very similar to locations CV-405 and N-225, except for the red
9 painting of paved shoulders. Besides, this location showed the lowest motor vehicle speed
10 reduction during passing (compared to average free-flow speed at the same locations). These
11 results might suggest that the red-painting safety countermeasure is not as adequate as expected
12 to increase safety of passing maneuvers.

13 **CONCLUSIONS**

14
15
16 This work has developed a new versatile methodology to observe motor vehicles passing bicycles,
17 from an instrumented bicycle. The detail and number of variables that was collected increased the
18 quality of data, with respect of previous research. Specially, the new methodology included the
19 measurement of the speed of motor vehicles circulating along the rural road, both on passing and
20 on opposing directions.

21
22 The method was applied to a sample of seven locations with a variety of geometrical conditions,
23 such as lane width, shoulder width and shoulder pavement color. This allowed the identification
24 of certain factors that generate dangerous maneuvers, such as a narrow road platform and a high
25 traffic volume. Besides, it was not verified that the presence of red pavement on shoulders was
26 beneficial for cyclist safety.

27
28 The main limitations of these study are caused by assuming that the only differences between
29 locations are caused to the different geometrical characteristics, while driver behavior is expected
30 to be homogeneous among all roads.

31
32 Further work should incorporate more variables with potential affection on passing maneuvers,
33 such as longitudinal grade or presence of cyclist groups. Although passing a bicycle is allowed
34 on no-passing zones in Spain, the risk associated to this should also be explored, because off the
35 limited available sight distance.

36
37 The results of this paper, as well as those expected from further research, may input design
38 guidelines, for roads with significant cyclist traffic volumes. Cyclist safety should be an additional
39 design determinant for the selection of lane and shoulder widths.

40 **REFERENCES**

- 41
42
43 1. Ministerio del Interior. *Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se*
44 *aprueba el Reglamento General de Circulación*. 2003.
- 45 2. Boufous, S., L. de Rome, T. Senserrick, and R. Ivers. Risk factors for severe injury in
46 cyclists involved in traffic crashes in Victoria, Australia. *Accident; analysis and*
47 *prevention*, Vol. 49, Nov. 2012, pp. 404–9.

- 1 3. Tin Tin, S., A. Woodward, and S. Ameratunga. Incidence, risk, and protective factors of
2 bicycle crashes: findings from a prospective cohort study in New Zealand. *Preventive*
3 *medicine*, Vol. 57, No. 3, Sep. 2013, pp. 152–61.
- 4 4. Klassen, J., K. El-Basyouny, and M. T. Islam. Analyzing the severity of bicycle-motor
5 vehicle collision using spatial mixed logit models: A City of Edmonton case study.
6 *Safety Science*, Vol. 62, Feb. 2014, pp. 295–304.
- 7 5. Hamann, C., and C. Peek-Asa. On-road bicycle facilities and bicycle crashes in Iowa,
8 2007-2010. *Accident; analysis and prevention*, Vol. 56, Jul. 2013, pp. 103–9.
- 9 6. Osberg, J. S., S. C. Stiles, and O. K. Asare. Bicycle safety behavior in Paris and Boston.
10 *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 30, No. 5, Sep. 1998, pp. 679–687.
- 11 7. Savolainen, P. T., T. J. Gates, R. G. Todd, T. K. Datta, and J. G. Morena. Lateral
12 Placement of Motor Vehicles When Passing Bicyclists. *Transportation Research*
13 *Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2314, No. -1, Dec. 2012,
14 pp. 14–21.
- 15 8. Kay, J. J., P. T. Savolainen, T. J. Gates, and T. K. Datta. Driver behavior during bicycle
16 passing maneuvers in response to a Share the Road sign treatment. *Accident; analysis*
17 *and prevention*, Vol. 70C, Sep. 2014, pp. 92–99.
- 18 9. Walker, I. Drivers overtaking bicyclists: objective data on the effects of riding position,
19 helmet use, vehicle type and apparent gender. *Accident; Analysis and Prevention*, Vol.
20 39, No. 2, Mar. 2007, pp. 417–25.
- 21 10. Walker, I., I. Garrard, and F. Jowitt. The influence of a bicycle commuter's appearance
22 on drivers' overtaking proximities: an on-road test of bicyclist stereotypes, high-visibility
23 clothing and safety aids in the United Kingdom. *Accident; analysis and prevention*, Vol.
24 64, Mar. 2014, pp. 69–77.
- 25 11. Chapman, J. R., and D. A. Noyce. Observations of Driver Behavior During Overtaking
26 of Bicycles on Rural Roads. *Transportation Research Record: Journal of the*
27 *Transportation Research Board*, Vol. 2321, No. 1, Dec. 2012, pp. 38–45.
- 28 12. Love, D. C., A. Breaud, S. Burns, J. Margulies, M. Romano, and R. Lawrence. Is the
29 three-foot bicycle passing law working in Baltimore, Maryland? *Accident; analysis and*
30 *prevention*, Vol. 48, Sep. 2012, pp. 451–6.
- 31 13. Chuang, K.-H., C.-C. Hsu, C.-H. Lai, J.-L. Doong, and M.-C. Jeng. The use of a quasi-
32 naturalistic riding method to investigate bicyclists' behaviors when motorists pass.
33 *Accident; Analysis and Prevention*, Vol. 56, Jul. 2013, pp. 32–41.
- 34 14. Dozza, M., and J. Werneke. Introducing naturalistic cycling data: What factors influence
35 bicyclists' safety in the real world? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology*
36 *and Behaviour*, Vol. 24, May 2014, pp. 83–91.
- 37 15. Ata, M. K., and R. G. Langlois. Factoring Cycling in Transportation Infrastructure :
38 Design Considerations Based on risk Exposure. *ITE Journal*, Vol. August 2011, 2011, pp.
39 49–53.

- 1 16. North Carolina Department of Transportation. *North Carolina Bicycle Facilities*
2 *Planning and Design Guidelines*. 1994.
- 3 17. Noger, C., C. REGARDIN, and E. Széchenyi. Investigation of the transient aerodynamic
4 phenomena associated with passing manoeuvres. *Journal of Fluids and Structures*, Vol.
5 21, No. 3, Nov. 2005, pp. 231–241.
- 6 18. Corin, R. J., L. He, and R. G. Dominy. A CFD investigation into the transient
7 aerodynamic forces on overtaking road vehicle models. *Journal of Wind Engineering*
8 *and Industrial Aerodynamics*, Vol. 96, No. 8-9, Aug. 2008, pp. 1390–1411.
- 9 19. Uystepuyst, D., and S. Krajnović. Numerical simulation of the transient aerodynamic
10 phenomena induced by passing manoeuvres. *Journal of Wind Engineering and Industrial*
11 *Aerodynamics*, Vol. 114, Mar. 2013, pp. 62–71.
- 12 20. Kato, Y., T. Iwasa, M. Matsuda, and Y. Miyai. Aerodynamic Effects to a Bicycle Caused
13 by a Passing Vehicle. *SAE Technical Papers*, Nov. 1981.
- 14 21. Llorca, C., A. Ángel-domènech, F. Agustín-gómez, V. Ferrer, and A. García. Motor
15 vehicles overtaking cyclists on two-lane rural roads: analysis on relative speed and
16 lateral clearance. *International Cycle Safety Conference, Gothenburg, SE.*, 2014.

ANEXO B

INSTRUMENTACIÓN

Bicicletas

Se han empleado dos tipos de bicicletas para la realización de las pruebas, una bicicleta de montaña y una bicicleta de carretera.

Bicicleta de montaña

Se trata de una bicicleta de montaña básica (*Figura 1*) para adulto, marca Conor, de tamaño de ruedas 26", con 21 velocidades y cuadro de acero.



Figura 1. Bicicleta de montaña.

Bicicleta de carretera

Se ha empleado una bicicleta básica de carretera (*Figura 2*) de la casa Decathlon, de 24 velocidades, con cuadro de aluminio y ruedas de 26".



Figura 2. Bicicleta de carretera.

Cámaras de video

Se han dispuesto tres cámaras de vídeo de dos tipos diferentes. El primero de los componentes del equipo son dos cámaras digitales de tamaño reducido (*Figura 3*). Su forma es cilíndrica, siendo su tamaño ligeramente inferior a 10 cm de longitud y 2 cm de diámetro.

De esta forma, cada una de las cámaras puede ser instalada fácilmente en cualquier punto de la bicicleta.

Las cámaras pueden grabar con una resolución de hasta 576 x 720 píxeles, en función del número de cámaras conectadas simultáneamente. El enfoque y apertura de las cámaras es automático.



Figura 3. Vistas de las cámaras de video digitales del sistema VBOX.

Se plantea su colocación en la parte delantera de la bicicleta, una grabando perpendicularmente y otra frontalmente al sentido de la marcha.

Por otro lado, se ha optado por la disposición en la parte trasera una cámara modelo GoPro Hero (*Figura 4*) capaz de grabar en alta definición, 5 Mpíxeles y Gran Angular 170º y HD.



Figura 4. Cámara Go Pro de alta definición.

Esta cámara, colocada en la parte trasera, permite grabar la maniobra de aproximación e inicio de adelantamiento de los vehículos.

Receptor GPS

Dentro de la equipación se incluye un receptor del sistema de posicionamiento global por satélite GPS (*Figura 5*). La frecuencia de actualización de dicho sistema es de 10 Hz, es decir, el receptor proporciona datos de posición y tiempo 10 veces por segundo.

El receptor se encuentra integrado en la unidad de grabación principal, que se describe a continuación, aunque cuenta con una antena externa, que se fija en la parte exterior de la bicicleta.

La precisión del receptor GPS es, de acuerdo a los datos de su fabricante, de $\pm 0,2$ Km/h en la determinación de velocidades, de ± 5 m en la determinación de la posición horizontal y de ± 10 m en la determinación de la altitud. Estas precisiones indican el radio del círculo centrado en las coordenadas exactas, y dentro del cual se encuentran el 95% de los datos proporcionados por el GPS. En la Figura 30 se observa la antena del receptor.



Figura 5. Antena del receptor GPS del sistema VBOX.

Medidores de velocidad puntual

Para recoger la velocidad de adelantamiento de los vehículos sobre los ciclistas (*Figura 6*) se ha utilizado un equipo de medición de velocidades basado en la tecnología láser. Se trata del Speed System T100/T200 (*Figura 7*) de la compañía Laser Technology Inc.

El sistema está basado en dos sensores láser dispuestos en paralelo, con sus respectivos haces en perpendicular al flujo de tráfico a caracterizar. Los vehículos, al circular, cortan dichos haces láser pudiendo los sensores obtener el número de vehículos que han circulado por la sección, así como su espaciamiento y su velocidad, computando la diferencia de tiempo entre el paso por el primer y el segundo sensor.

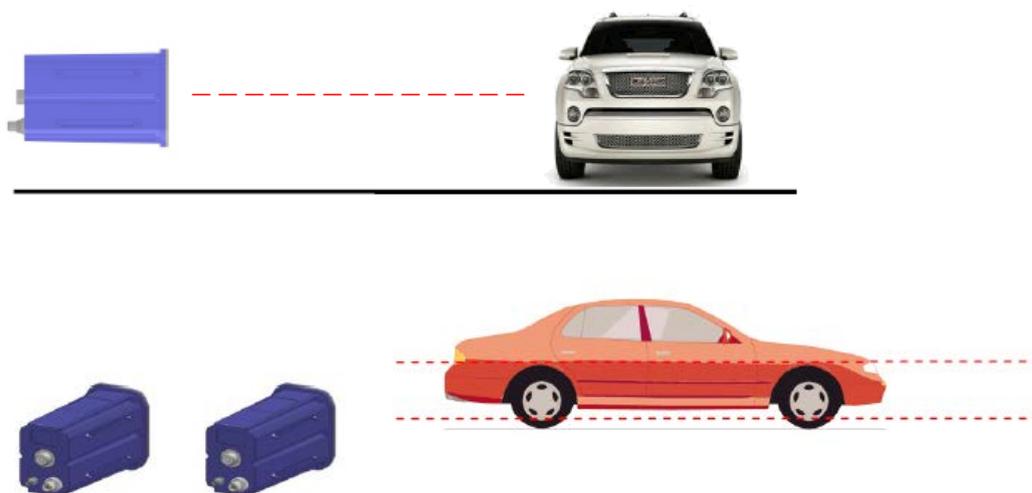


Figura 6. Esquema de instalación del Speed System T100/200.

El sistema de medición de velocidad se conecta directamente a una batería y a un ordenador portátil, que registra los datos de forma continua. En el fichero de datos generado, es posible identificar, directamente, la velocidad de cada uno de los vehículos.



Figura 7. Vista del sensor Speed System T100/T200 y montaje sobre soportes para realizar mediciones desde el exterior de la plataforma.

Distanciómetros láser

Se han colocado dos distanciómetros para obtener las distancias de separación durante el adelantamiento entre el vehículo adelantante y la bicicleta.

Estas separaciones entre ambos vehículos, y las velocidades relativas entre el adelantante y el adelantado son algunos de los parámetros más importantes al evaluar las trayectorias y la caracterización de la maniobra de adelantamiento.

Además, conociendo la posición del vehículo adelantado a lo largo del tiempo, gracias al GPS de alta precisión que lleva instalado, es posible estimar las velocidades del vehículo adelantante.

El sensor, dispuesto de forma perpendicular al eje de la bicicleta, permite obtener la distancia desde el vehículo instrumentado hasta el adelantante en el periodo de adelantamiento.

Se trata de sensores S200 (*Figura 8*) de la compañía Laser Technology Inc. Estos sensores, una vez conectados a un ordenador portátil y a una fuente de alimentación, proporcionan la distancia desde los mismos hasta el objeto que se encuentra en el haz de luz no visible que emiten. En el archivo de datos generado, se almacena para cada sexto de segundo la distancia al objeto.



Figura 8. Distanciómetro laser S200 de Laser Technology Inc.

Su funcionamiento requiere el uso de diversos conectores (*Figura 9*) para posibilitar la adquisición de datos desde un ordenador portátil, así como la alimentación por medio de baterías de 12 V. En concreto, además de cableado adicional, son necesarios dos conectores de puerto serie tipo DB9, para montar en los cables suministrados por el fabricante, así como dos adaptadores de puerto serie DB9 a puerto USB, accesible desde el ordenador portátil.



Figura 9. Conexiones necesarias para la comunicación entre los distanciómetros y el ordenador portátil.

Micrófono

Se ha dispuesto un sencillo micrófono (*Figura 10*) a través del cual el ciclista pueda grabar sus impresiones durante las maniobras de adelantamiento.

Dicha información queda almacenada en el dispositivo VBOX junto con las imágenes de vídeo grabadas.



Figura 10. Micrófono.

Sistema de almacenamiento de datos VBOX

Las dos cámaras digitales de tamaño reducido, el receptor GPS y el micrófono se conectan a una unidad de grabación (*Figura 11*). Este sistema está alimentado por una toma de corriente continua de 12 V suministrada por una batería dispuesta en la bicicleta.

El equipo de grabación, que puede observarse en la Figura 36, recoge los datos proporcionados por las cámaras de vídeo y por el GPS, y los almacena en forma de archivos de vídeo y archivos de texto asociados que contienen la información de la posición, a lo largo del tiempo, del vehículo en el periodo de grabación. Los datos del micrófono se graban junto con las imágenes de vídeo.

Estos datos se almacenan en una tarjeta de memoria extraíble.



Figura 11. Unidad de grabación del sistema VBOX.

Ordenador portátil

Adicionalmente, y con el fin de permitir el almacenamiento adicional de datos, ha sido necesario utilizar un ordenador tipo netbook, concretamente un Toshiba NB100.

Se trata de un portátil de pequeño tamaño (*Figura 12*), de dimensiones 225 x 190.5 x 29.5 mm, un peso de algo menos de un kilo y pantalla de 8,9". Cuenta con un procesador Intel Atom N270 con una velocidad de reloj de 1.6 GHz y un gigabyte de RAM DDR2. Dispone de un disco duro de 120 GB, tres puertos USB y lector de tarjetas 4 en 1, además de conexiones de red y bluetooth.



Figura 12. Ordenador portátil.

A él se conectan los dos distanciómetros y los medidores de velocidad puntual. Un software de captación de datos, concretamente el FOX TERM (*Figura 13*), permite la comunicación con los dispositivos y la generación de un fichero de texto para cada uno de los tres dispositivos con los datos captados.

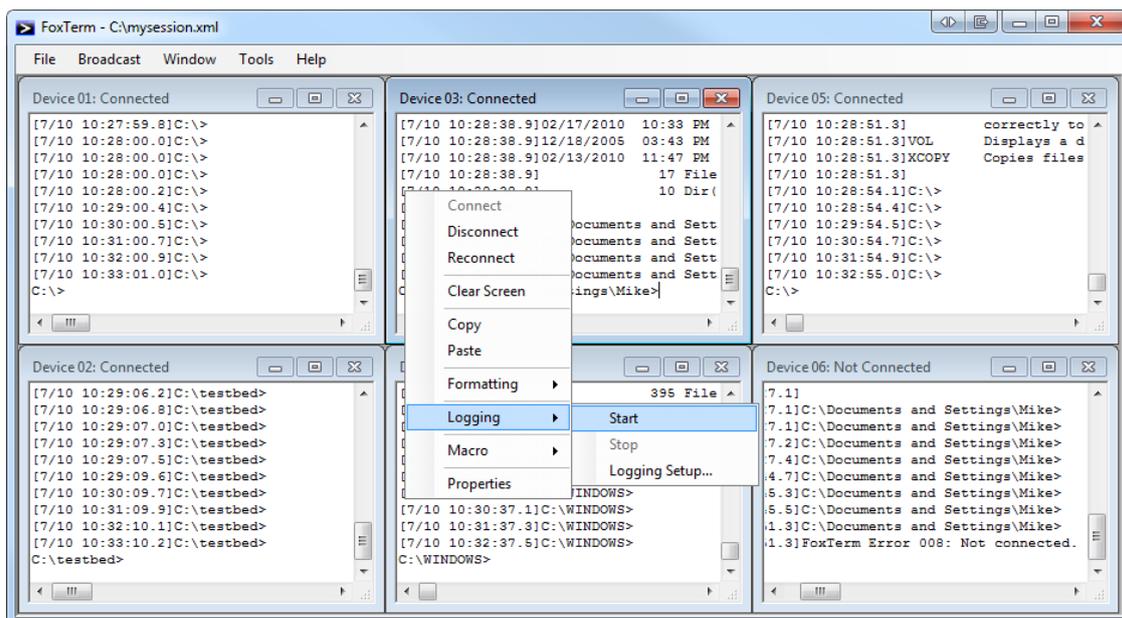


Figura 13. Imagen pantalla software FoxTerm.

Puntero láser

Se ha utilizado un puntero láser (Figura 14) para marcar una referencia durante la marcha al ciclista. Se ha sujetado mediante un sistema que permite variar la distancia lateral a una referencia sobre la plataforma, concretamente a la línea de arcén.



Figura 14. Puntero láser.

Accesorios

La implantación del instrumental en la bicicleta requiere del uso de una serie de elementos accesorios (Figura 14) tanto para fijar su posición en la misma como para conectarlo a los dispositivos de almacenamiento como para suministrar la energía necesaria para su funcionamiento.

- Dos portabultos planos de tamaño reducido fijados a la parte delantera y trasera de la bicicleta, así como una bandeja de plástico colocada sobre el portabultos frontal.
- Baterías para alimentación de los dispositivos.

- Cables para alimentación desde la batería
- Cables para conectarse a los dispositivos de almacenamiento de datos.
- Adaptadores para conectar los cables a los dispositivos de almacenamiento de datos en los casos en los que no sean compatibles.
- Bridas y sistemas de sujeción.



Figura 15. Cableados y conexiones.

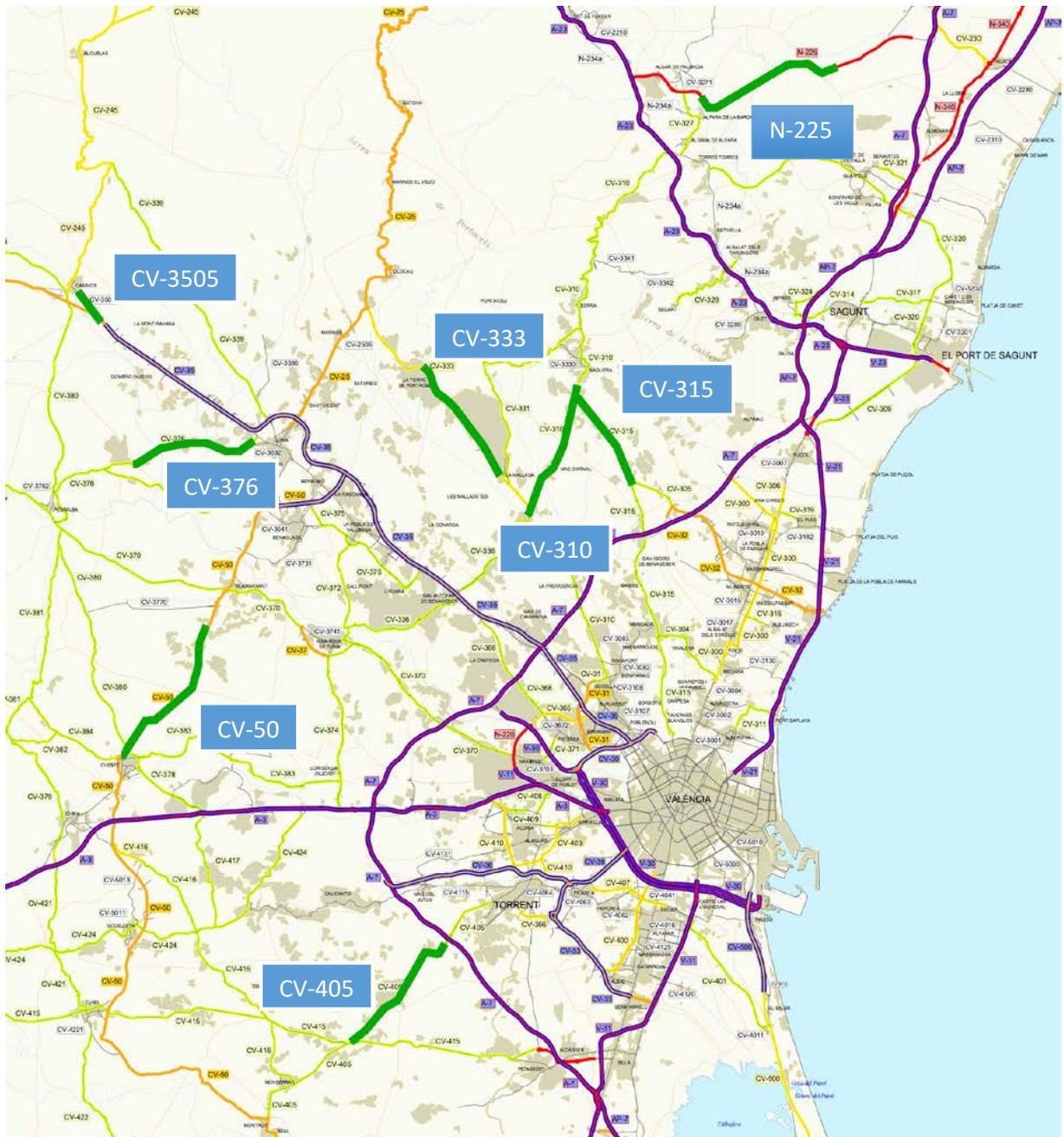
ANEXO C

RECORRIDOS TRAMOS PRUEBAS

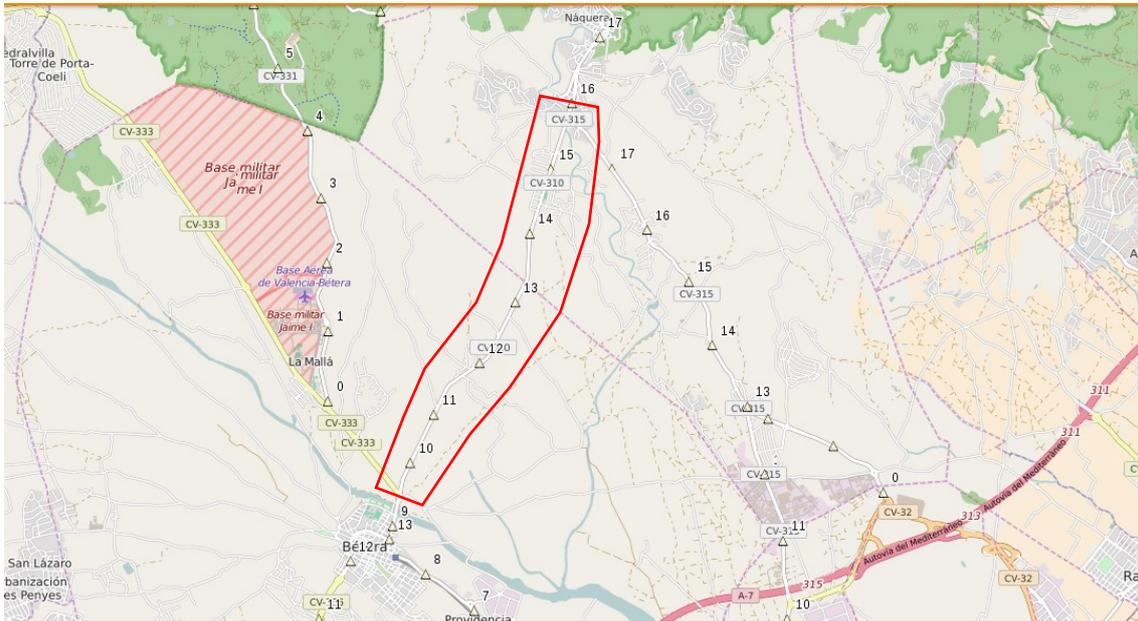
TRAMOS PRUEBAS

Tramo	Carretera	PK inicial	PK final	Long (km)	IMD (v/d)	% Pesados	Carril (m)	Arcén (m)
Bétera	CV-310	9,48	14,8	5,32	5.029	1,69%	3,15	1,5
Casinos	CV-3505	37,803	38,906	1,103	2.663	4,91%	3,5	1,6
Cheste	CV-50	76	83,830	7,83	4.370	6,1%	3,5	1,5
Náquera	CV-315	13	17,1	4,1	6.050	1,88%	3,15	2,5
Pedralba	CV-376	1,4	7,16	5,76	3.607	3,74%	3,25	0,5
Portaceli	CV-333	3,7	8,49	4,79	3.779	1,70%	3,05	1,1
Torrent	CV-405	3,14	8,94	5,8	14.334	3,10%	3,5	1
Algar	N-225	4,69	10,06	5,37	4.862	15,53%	3,5	1,5

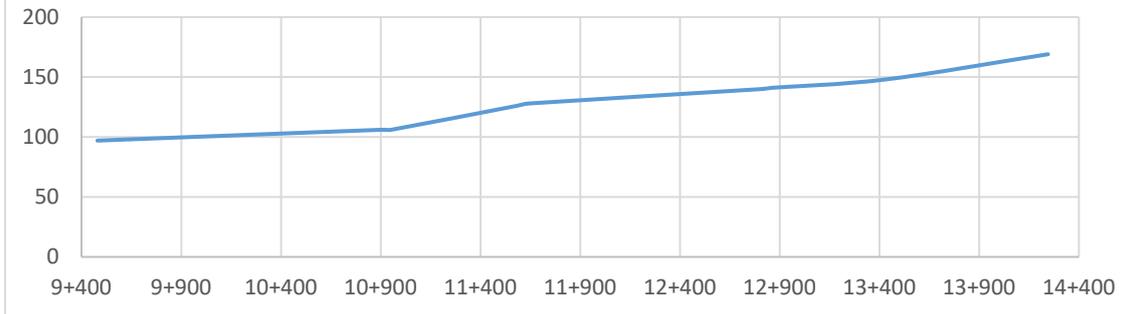
SITUACIÓN DE LOS TRAMOS



BÉTERA



PERFIL LONGITUDINAL



TRAZADO EN PLANTA

PK	Alineación	Radio (m)
9+480	recta	
9+982	derecha	112
10+034	recta	
11+404	derecha	107
11+500	recta	
12+068	izquierda	207
12+239	recta	
13+317	izquierda	201
13+480	recta	
13+918	derecha	264
14+020	recta	

MOUNTAIN BIKE 29-11-2012

Inicio	Fin	Duración	Recorrido		Sentido	PK inicial	PK final
8:06:42,00	8:18:16,00	0:11:34	1	-1	Bétera	14,75	9,419
8:18:16,00	8:37:42,00	0:19:26	2	1	Urb. Mont Ros	9,419	14,75
8:37:42,00	8:49:00,00	0:11:18	3	-1	Bétera	14,75	9,419
8:55:06,00	9:14:15,00	0:19:09	4	1	Urb. Mont Ros	9,419	14,75
9:14:15,00	9:26:07,00	0:11:52	5	-1	Bétera	14,75	9,419
9:26:07,00	9:44:45,00	0:18:38	6	1	Urb. Mont Ros	9,419	14,75
9:52:26,00	10:03:23,60	0:10:58	7	-1	Bétera	14,75	9,419
10:03:23,60	10:24:27,00	0:21:03	8	1	Urb. Mont Ros	9,419	14,75
10:31:35,40	10:41:27,00	0:09:52	9	-1	Bétera	14,75	9,419

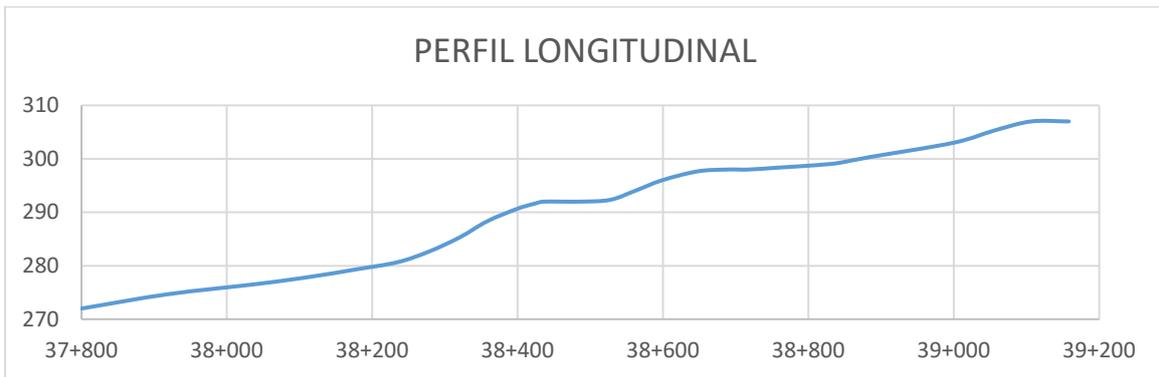
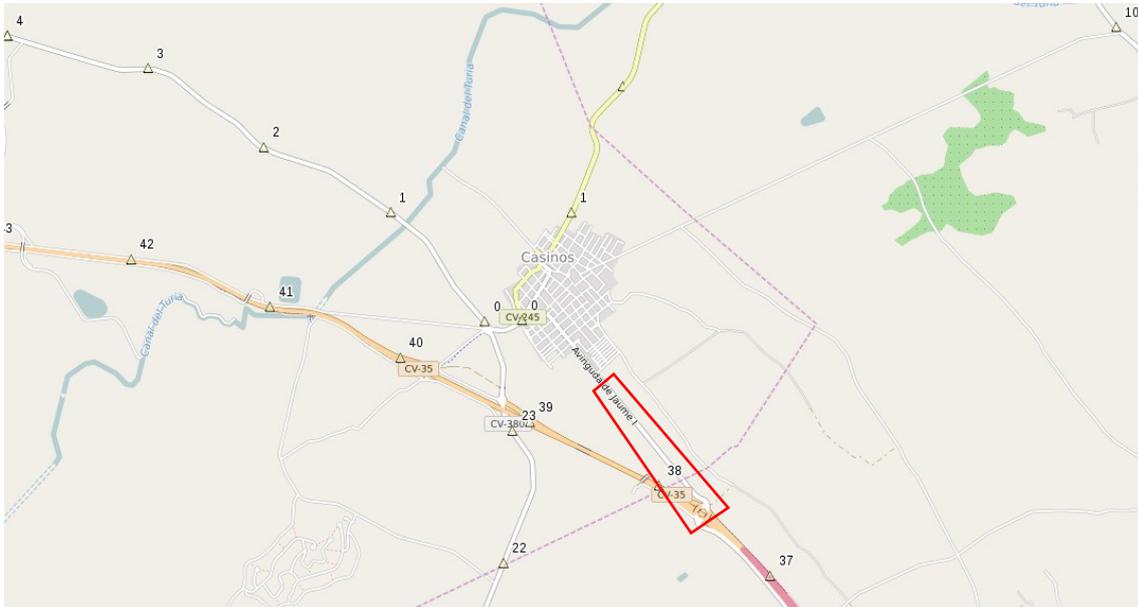
2:13:50

RACE BIKE 01-02-2013

Inicio	Fin	Duración	Recorrido		Sentido	PK inicial	PK final
8:17:43,00	8:37:14,30	0:19:31	1	1	Urb. Mont Ros	9,419	14,75
8:37:52,00	8:48:58,00	0:11:06	2	-1	Bétera	14,75	9,419
8:48:58,00	9:08:17,60	0:19:20	3	1	Urb. Mont Ros	9,419	14,75
9:17:41,00	9:28:41,00	0:11:00	4	-1	Bétera	14,75	9,419
9:28:41,00	9:47:00,00	0:18:19	5	1	Urb. Mont Ros	9,419	14,75
9:56:00,00	10:08:05,00	0:12:05	6	-1	Bétera	14,75	9,419
10:08:05,00	10:26:10,60	0:18:06	7	1	Urb. Mont Ros	9,419	14,75
10:34:59,60	10:46:24,50	0:11:25	8	-1	Bétera	14,75	9,419
10:46:24,50	11:02:19,00	0:15:54	9	1	Urb. Mont Ros	9,419	14,75
11:02:19,00	11:13:07,00	0:10:48	10	-1	Bétera	14,75	9,419

2:27:34

CASINOS



TRAZADO EN PLANTA		
PK	Alineación	Radio (m)
37803	derecha	175
37903	recta	
38948	recta	
40000	recta	

MOUNTAIN BIKE 26-10-2012

Inicio	Fin	Duración	Recorrido	Sentido		PK inicial	PK final
7:31:11,00	7:34:20,00	0:03:09	1	-1	Valencia	38,975	37,803
7:34:20,00	7:39:13,00	0:04:53	2	1	Casinos	37,803	38,906
7:41:26,00	7:44:28,00	0:03:02	3	-1	Valencia	38,906	37,803
7:44:28,00	7:49:35,00	0:05:07	4	1	Casinos	37,803	38,906
7:49:56,00	7:53:08,00	0:03:12	5	-1	Valencia	38,906	37,803
7:53:08,00	7:58:33,00	0:05:25	6	1	Casinos	37,803	38,906
7:58:36,00	8:01:40,00	0:03:04	7	-1	Valencia	38,906	37,803
8:01:40,00	8:07:08,00	0:05:28	8	1	Casinos	37,803	38,906
8:13:52,00	8:17:11,00	0:03:19	9	-1	Valencia	38,906	37,803
8:17:11,00	8:22:47,00	0:05:36	10	1	Casinos	37,803	38,906
8:22:47,00	8:26:13,00	0:03:26	11	-1	Valencia	38,906	37,803
8:26:13,00	8:31:40,00	0:05:27	12	1	Casinos	37,803	38,906
8:31:40,00	8:34:54,00	0:03:14	13	-1	Valencia	38,906	37,803
8:34:54,00	8:40:22,00	0:05:28	14	1	Casinos	37,803	38,906
8:40:22,00	8:43:41,00	0:03:19	15	-1	Valencia	38,906	37,803
8:43:41,00	8:49:08,00	0:05:27	16	1	Casinos	37,803	38,906
8:49:08,00	8:52:20,00	0:03:12	17	-1	Valencia	38,906	37,803
8:52:20,00	8:53:09,00	0:00:49	18	1	Casinos	37,803	38
9:11:19,00	9:14:42,00	0:03:23	19	-1	Valencia	38,906	37,803
9:14:42,00	9:19:50,00	0:05:08	20	1	Casinos	37,803	38,906
9:19:50,00	9:22:57,00	0:03:07	21	-1	Valencia	38,906	37,803
9:22:57,00	9:27:59,00	0:05:02	22	1	Casinos	37,803	38,906
9:27:59,00	9:30:59,00	0:03:00	23	-1	Valencia	38,906	37,803
9:30:59,00	9:35:55,00	0:04:56	24	1	Casinos	37,803	38,906
9:35:55,00	9:38:56,00	0:03:01	25	-1	Valencia	38,906	37,803
9:38:56,00	9:44:13,00	0:05:17	26	1	Casinos	37,803	38,906
9:44:13,00	9:47:16,00	0:03:03	27	-1	Valencia	38,906	37,803
9:47:16,00	9:52:35,00	0:05:19	28	1	Casinos	37,803	38,906
9:59:30,00	10:02:40,00	0:03:10	29	-1	Valencia	38,906	37,803
10:02:40,00	10:08:06,00	0:05:26	30	1	Casinos	37,803	38,906
10:08:06,00	10:11:05,00	0:02:59	31	-1	Valencia	38,906	37,803
10:11:05,00	10:16:33,00	0:05:28	32	1	Casinos	37,803	38,906
10:16:33,00	10:19:25,00	0:02:52	33	-1	Valencia	38,906	37,803
10:19:25,00	10:24:58,00	0:05:33	34	1	Casinos	37,803	38,906
10:24:58,00	10:27:52,00	0:02:54	35	-1	Valencia	38,906	37,803
10:27:52,00	10:33:24,00	0:05:32	36	1	Casinos	37,803	38,906
10:33:24,00	10:36:16,00	0:02:52	37	-1	Valencia	38,906	37,9

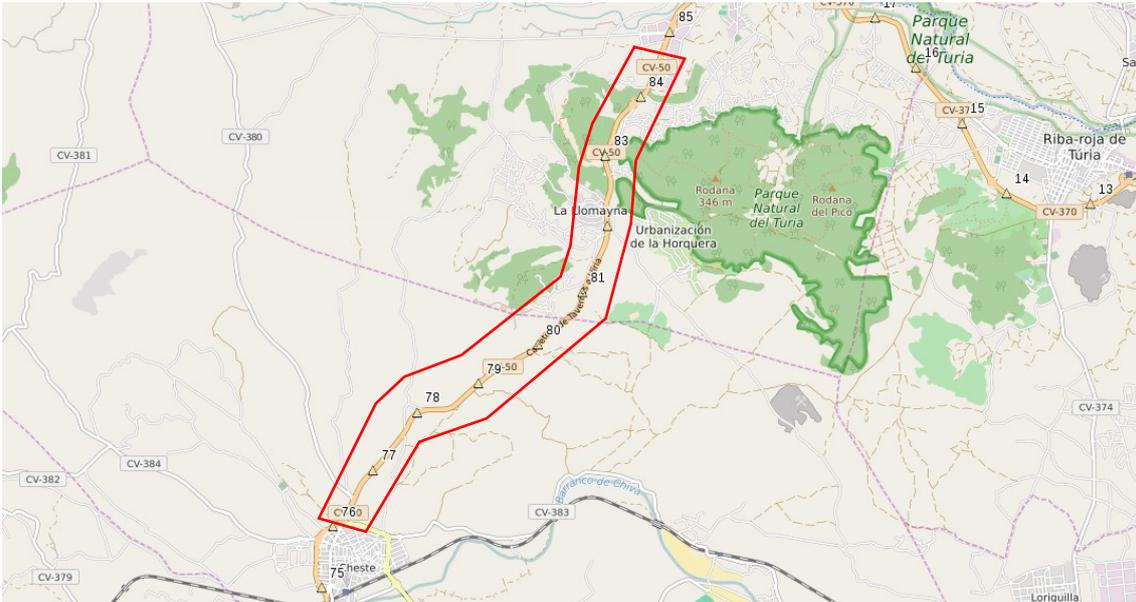
2:30:39

RACE BIKE 18-01-2013

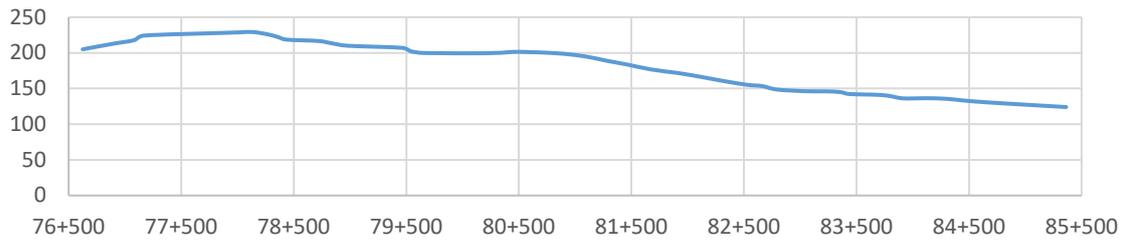
Inicio	Fin	Duración	Recorrido	Sentido		PK inicial	PK final
8:53:06,00	8:55:44,00	0:02:38	1	-1	Valencia	38,906	37,803
8:55:56,00	9:00:42,00	0:04:46	2	1	Casinos	37,803	38,906
9:02:38,00	9:05:06,00	0:02:28	3	-1	Valencia	38,906	37,803
9:05:06,00	9:09:45,00	0:04:39	4	1	Casinos	37,803	38,906
9:16:20,00	9:19:03,00	0:02:43	5	-1	Valencia	38,906	37,803
9:19:03,00	9:24:16,00	0:05:13	6	1	Casinos	37,803	38,906
9:24:29,00	9:27:13,00	0:02:44	7	-1	Valencia	38,906	37,803
9:27:13,00	9:32:21,00	0:05:08	8	1	Casinos	37,803	38,906
9:32:36,00	9:35:20,00	0:02:44	9	-1	Valencia	38,906	37,803
9:35:30,00	9:40:35,00	0:05:05	10	1	Casinos	37,803	38,906
9:41:01,00	9:43:52,00	0:02:51	11	-1	Valencia	38,906	37,803
9:44:12,00	9:49:23,00	0:05:11	12	1	Casinos	37,803	38,906
9:49:51,00	9:52:35,00	0:02:44	13	-1	Valencia	38,906	37,803
9:52:44,00	9:57:52,00	0:05:08	14	1	Casinos	37,803	38,906
10:14:10,00	10:17:00,00	0:02:50	15	-1	Valencia	38,906	37,803
10:17:00,00	10:22:26,00	0:05:26	16	1	Casinos	37,803	38,906
10:22:46,00	10:25:37,00	0:02:51	17	-1	Valencia	38,906	37,803
10:25:53,00	10:31:36,00	0:05:43	18	1	Casinos	37,803	38,906
10:32:20,00	10:34:57,00	0:02:37	19	-1	Valencia	38,906	37,803
10:34:27,00	10:40:41,00	0:06:14	20		Casinos	37,803	38,906
10:40:56,00	10:43:39,00	0:02:43	21	-1	Valencia	38,906	37,803
10:43:59,00	10:49:33,00	0:05:34	22	1	Casinos	37,803	38,906
10:55:48,00	10:58:40,00	0:02:52	23	-1	Valencia	38,906	37,803
10:58:41,00	11:03:42,00	0:05:01	24	1	Casinos	37,803	38,906
11:04:00,00	11:06:32,00	0:02:32	25	-1	Valencia	38,906	37,803
11:06:32,00	11:11:54,00	0:05:22	26	1	Casinos	37,803	38,906
11:12:17,00	11:14:59,00	0:02:42	27	-1	Valencia	38,906	37,803
11:15:10,00	11:20:42,00	0:05:32	28	1	Casinos	37,803	38,906
11:21:34,00	11:24:14,00	0:02:40	29	-1	Valencia	38,906	37,803
11:24:23,00	11:30:04,00	0:05:41	30	1	Casinos	37,803	38,906
11:30:58,00	11:33:54,00	0:02:56	31	-1	Valencia	38,906	37,803
11:34:08,00			32	1	Casinos	37,803	

2:03:18

CHESTE



PERFIL LONGITUDINAL



TRAZADO EN PLANTA		
PK	Alineación	Radio (m)
76+625	recta	
76+736	derecha	313
76+860	recta	
77+033	izquierda	-1526
77+235	recta	
77+653	izquierda	-542
77+852	derecha	277
78+222	recta	
78+436	izquierda	-231
78+619	recta	
79+142	derecha	621
79+315	recta	
79+867	izquierda	-416
80+146	derecha	279
80+346	izquierda	-517
80+524	recta	

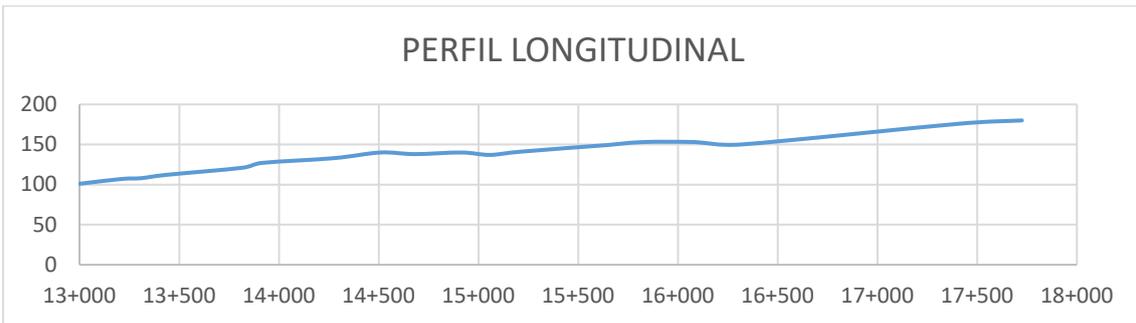
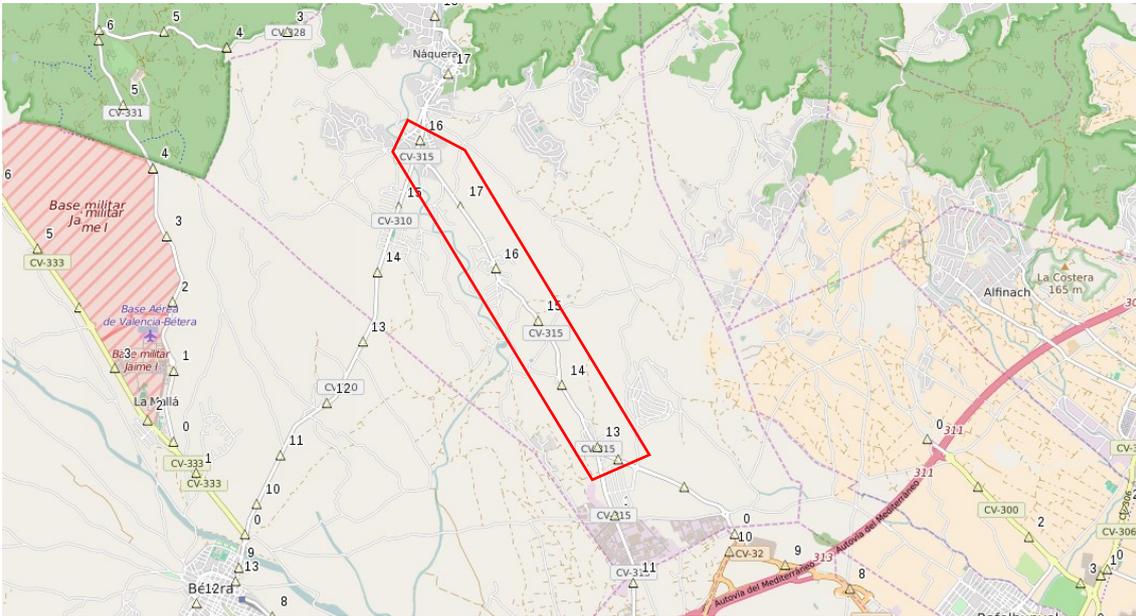
80+707	izquierda	-264
80+925	derecha	361
81+081	recta	
81+701	izquierda	-755
82+168	recta	
82+300	derecha	384
82+461	recta	
82+517	izquierda	-453
82+793	recta	
82+986	derecha	260
83+177	recta	
83+233	izquierda	-992
83+389	recta	
83+477	derecha	490
83+742	recta	
84+011	izquierda	-482
84+238	recta	
85+108		

MOUNTAIN BIKE

Inicio	Fin	Duración	Recorrido		Sentido	PK inicial	PK final
7:13:28,30	7:33:42,30	0:20:14	1	-1	Cheste	83,83	73
7:34:01,30	7:49:46,70	0:15:45	2	1	Vilamarxant	76	83,83
7:57:51,80	8:17:55,50	0:20:04	3	-1	Cheste	83,83	73
8:18:17,80	8:34:34,60	0:16:17	4	1	Vilamarxant	76	83,83
8:40:17,90	9:01:04,80	0:20:47	5	-1	Cheste	83,83	73
9:01:23,40	9:18:06,00	0:16:43	6	1	Vilamarxant	76	83,83

1:49:49

NÁQUERA



TRAZADO EN PLANTA		
PK	Alineación	Radio (m)
13+000	izquierda	282
13+109	derecha	1.138
13+493	izquierda	179
13+607	derecha	277
13+710	recta	
14+045	derecha	263
14+187	izquierda	846
14+302	derecha	272
14+390	izquierda	283
14+576	recta	
14+652	izquierda	254
14+764	derecha	346
14+989	recta	

15+076	izquierda	379
15+205	derecha	218
15+339	izquierda	234
15+480	derecha	708
15+605	izquierda	246
15+713	derecha	175
15+897	izquierda	476
16+110	recta	
16+384	izquierda	857
16+639	recta	
17+606	izquierda	267
17+711	recta	
20+000	recta	

MOUNTAIN BIKE 29-10-2012

Inicio	Fin	Duración	Recorrido	Sentido		PK inicial	PK final
8:32:00,00	8:42:59,00	0:10:59	1	-1	Tres Rutas	17,093	13
8:49:46,00	9:07:30,00	0:17:44	2	1	Náquera	13	17,627
9:07:40,00	9:25:10,70	0:17:31	3	-1	Tres Rutas	17,093	13
9:26:20,00	9:42:51,00	0:16:31	4	1	Náquera	13	17,943
9:42:58,00	9:54:44,00	0:11:46	5	-1	Tres Rutas	17,943	13
10:06:17,00	10:23:26,00	0:17:09	6	1	Náquera	13	17,943
10:23:28,00	10:35:07,00	0:11:39	7	-1	Tres Rutas	17,943	13
10:36:24,00	10:53:00,00	0:16:36	8	1	Náquera	13	17,648
10:53:05,00	11:13:59,00	0:20:54	9	1	Tres Rutas	17,093	13
11:15:03,00	11:31:28,00	0:16:25	10	1	Náquera	13	17,648
11:31:30,00	11:43:00,00	0:11:30	11	-1	Tres Rutas	17,648	13
11:44:06,00	12:00:27,00	0:16:21	12	1	Náquera	13	17,904

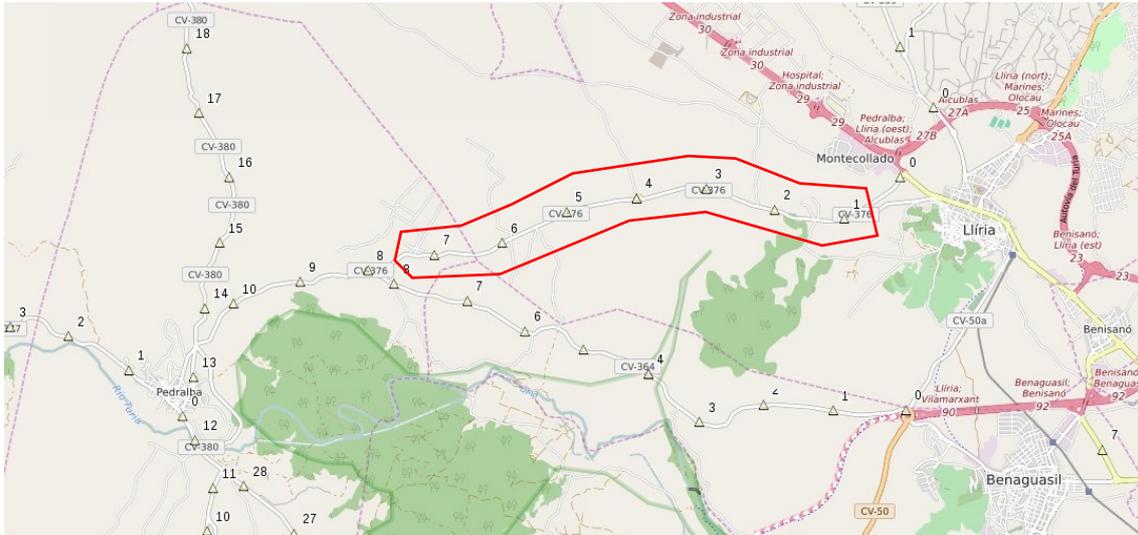
3:05:05

RACE BIKE 25-01-2013

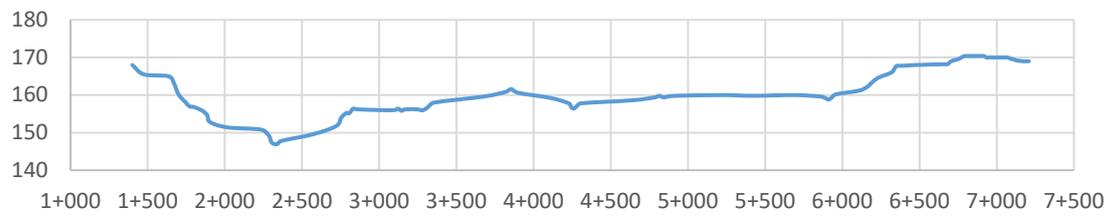
Inicio	Fin	Duración	Recorrido	Sentido		PK inicial	PK final
8:23:53,80	8:38:59,00	0:15:05	1	1	Náquera	13	17,648
8:39:15,00	8:48:12,00	0:08:57	2	-1	Tres Rutas	17,648	13
9:01:37,60	9:15:57,30	0:14:20	3	1	Náquera	13	17,648
9:15:57,00	9:24:50,00	0:08:53	4	-1	Tres Rutas	17,648	13
9:26:13,00	9:41:40,00	0:15:27	5	1	Náquera	13	17,648
9:42:08,00	9:50:40,00	0:08:32	6	-1	Tres Rutas	17,648	13
10:03:01,00	10:20:07,00	0:17:06	7	1	Náquera	13	17,648
10:20:14,00	10:29:26,00	0:09:12	8	-1	Tres Rutas	17,648	13
10:31:01,00	10:47:45,00	0:16:44	9	1	Náquera	13	17,648
10:48:10,00	10:56:51,00	0:08:41	10	-1	Tres Rutas	17,648	13
11:04:24,00	11:18:02,00	0:13:38	11	1	Náquera	13	17,648
11:18:08,00	11:26:02,00	0:07:54	12	-1	Tres Rutas	17,648	13

2:24:29

PEDRALBA



PERFIL LONGITUDINAL



TRAZADO EN PLANTA		
PK	Alineación	Radio (m)
1+400	izquierda	1.552
1+617	recta	
1+719	derecha	129
1+801	recta	
1+818	derecha	167
1+852	recta	
1+897	izquierda	92
1+959	recta	
2+304	derecha	320
2+404	recta	
2+811	izquierda	323
2+939	recta	
3+115	izquierda	378
3+240	recta	
3+297	izquierda	175
3+384	recta	
3+884	derecha	180

3+959	recta	
4+265	izquierda	326
4+350	recta	
4+791	izquierda	436
4+994	recta	
5+913	izquierda	190
5+984	recta	
6+150	derecha	174
6+274	recta	
6+400	derecha	106
6+467	recta	
6+668	derecha	769
6+762	recta	
6+779	izquierda	93
6+879	recta	
6+937	derecha	105
7+041	recta	
7+103	izquierda	181
7+165	recta	

MOUNTAIN BIKE 26-11-2012

Inicio	Fin	Duración	Recorrido	Sentido		PK inicial	PK final
8:13:15,00	8:31:30,00	0:18:15	1	-1	Lliria	7,16	1,53
8:31:30,00	8:47:59,00	0:16:29	2	1	Pedralba	1,53	7,16
8:52:15,00	9:08:20,00	0:16:05	3	-1	Lliria	7,16	1,53
9:08:20,00	9:24:23,00	0:16:03	4	1	Pedralba	1,53	7,16
9:24:38,00	9:43:48,00	0:19:10	5	-1	Lliria	7,16	1,53
9:43:48,00	10:00:12,00	0:16:24	6	1	Pedralba	1,53	7,16
10:08:14,00	10:24:22,00	0:16:08	7	-1	Lliria	7,16	1,53
10:24:22,00	10:40:57,00	0:16:35	8	1	Pedralba	1,53	7,16

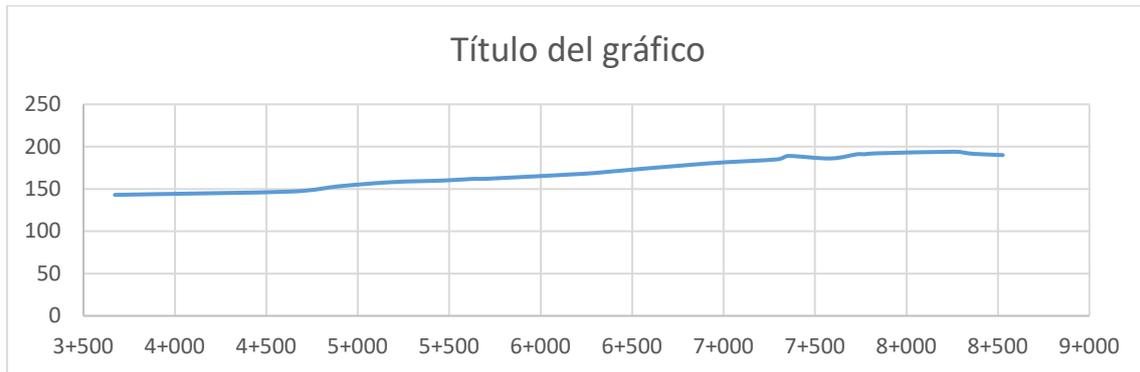
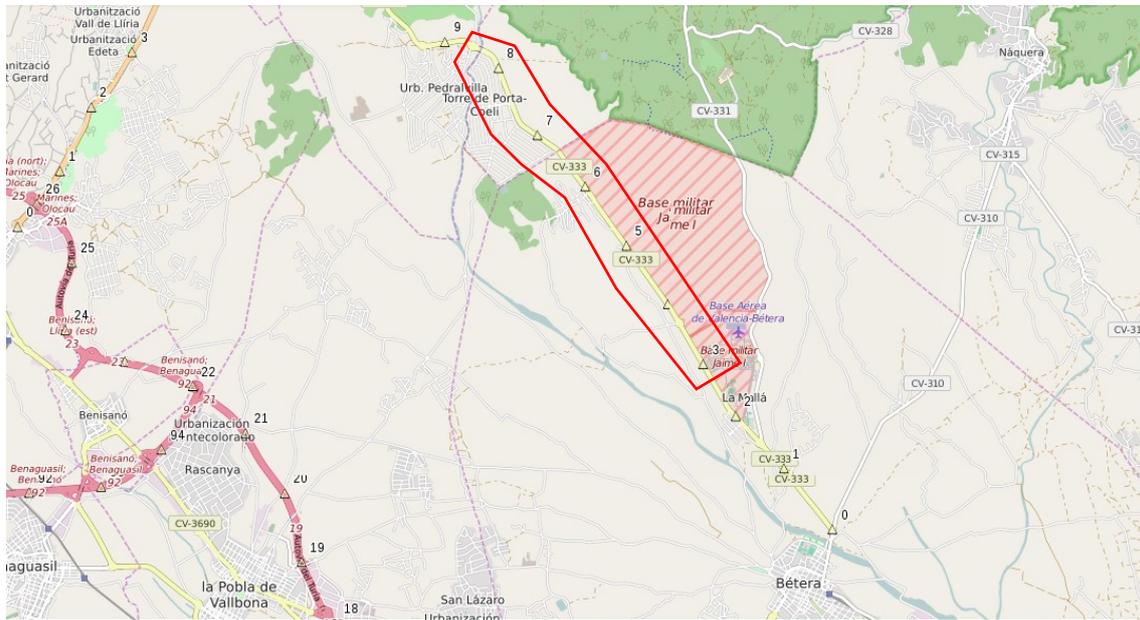
2:15:09

RACE BIKE 29-01-2013

Inicio	Fin	Duración	Recorrido	Sentido		PK inicial	PK final
8:31:02,00	8:46:04,00	0:15:02	1	-1	Lliria	7,16	1,53
8:46:09,00	9:01:08,00	0:14:59	2	1	Pedralba	1,53	7,16
9:01:08,00	9:14:53,00	0:13:45	3	-1	Lliria	7,16	1,53
9:16:46,00	9:30:00,00	0:13:14	4	1	Pedralba	1,53	7,16
9:42:47,00	9:56:45,00	0:13:58	5	-1	Lliria	7,16	1,53
9:56:56,00	10:11:42,00	0:14:46	6	1	Pedralba	1,53	7,16
10:11:56,00	10:26:09,00	0:14:13	7	-1	Lliria	7,16	1,53
10:33:38,00	10:48:48,00	0:15:10	8	1	Pedralba	1,53	7,16
10:49:00,00	11:01:49,00	0:12:49	9	-1	Liria	7,16	1,53
11:01:54,00	11:15:22,00	0:13:28	10	1	Pedralba	1,53	7,16

2:21:24

PORTACELI



TRAZADO EN PLANTA		
PK	Alineación	Radio (m)
3+700	recta	
6+620	izquierda	186
6+742	recta	
7+178	derecha	202
7+411	recta	
8+172	izquierda	238
8+483	recta	

MOUNTAIN BIKE 30-11-2012

Inicio	Fin	Duración	Recorrido		Sentido	PK inicial	PK final
8:17:14,50	8:35:14,00	0:17:59	1	1	Urb. Pedravilla	3,7	8,61
8:35:25,00	8:44:32,20	0:09:07	2	-1	Urb. Brucar	8,61	3,7
8:44:44,00	8:55:18,10	0:10:34	3	1	Urb. Pedravilla	3,7	6,635
9:16:59,10	9:21:45,00	0:04:46	4	-1	Urb. Brucar	5,91	3,7
9:21:45,00	9:39:48,00	0:18:03	5	1	Urb. Pedravilla	3,7	8,61
9:43:25,40	9:53:40,60	0:10:15	6	-1	Urb. Brucar	8,61	3,7
9:53:40,60	10:12:18,70	0:18:38	7	1	Urb. Pedravilla	3,7	8,61
10:17:23,00	10:27:56,30	0:10:33	8	-1	Urb. Brucar	8,61	3,7
10:27:57,00	10:45:25,00	0:17:28	9	1	Urb. Pedravilla	3,7	8,61
10:45:50,00	10:55:47,00	0:09:57	10	-1	Urb. Brucar	8,61	3,7
10:55:58,30	11:08:05,00	0:12:07	11	1	Urb. Pedravilla	3,7	7,259
11:21:52,40	11:32:00,00	0:10:08	12	-1	Urb. Brucar	8,61	3,7
11:32:11,00	11:50:23,60	0:18:13	13	1	Urb. Pedravilla	3,7	8,61

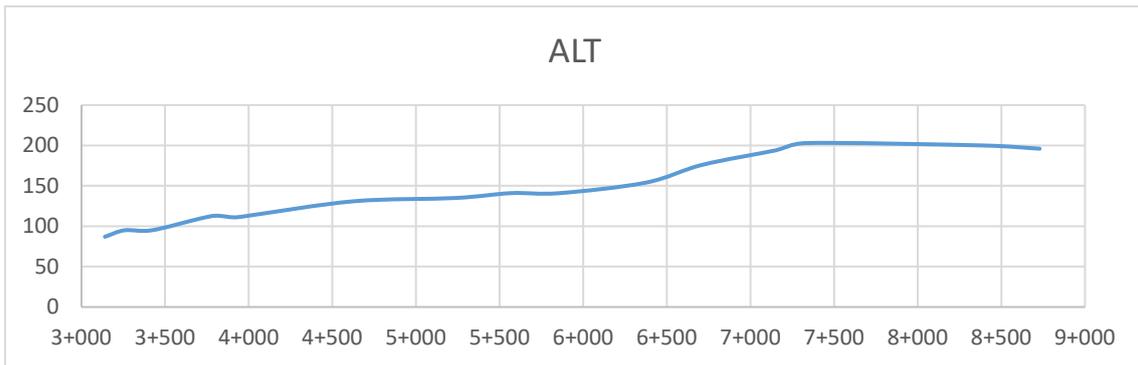
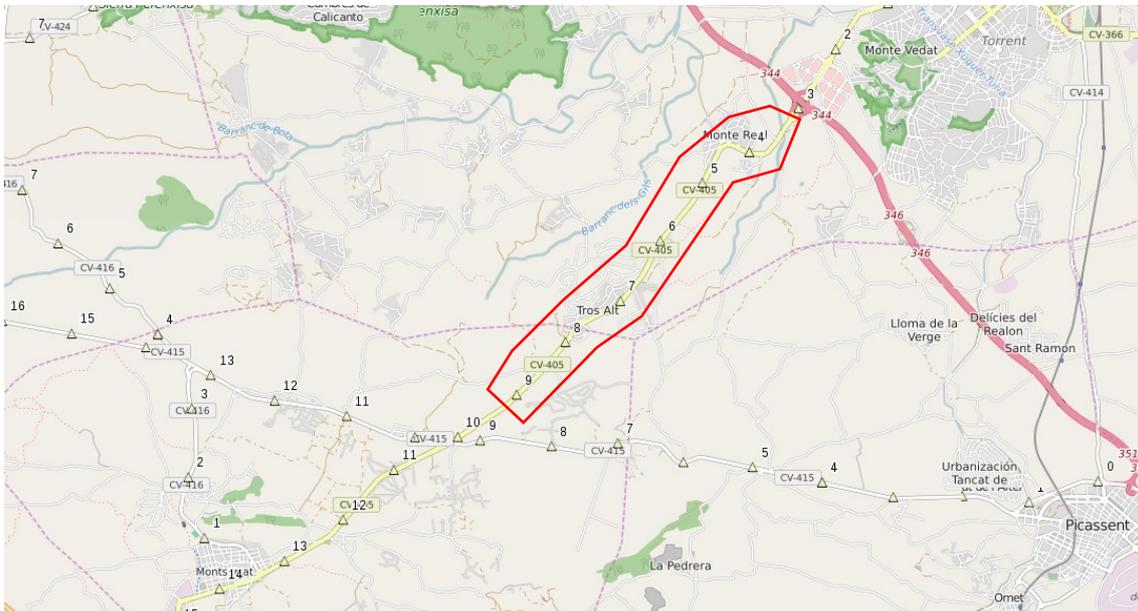
2:47:48

RACE BIKE 31-01-2013

Inicio	Fin	Duración	Recorrido		Sentido	PK inicial	PK final
8:27:25,00	8:45:55,00	0:18:30	1	1	Urb. Pedravilla	3,7	8,61
8:46:19,00	8:55:25,00	0:09:06	2	-1	Urb. Brucar	8,61	3,7
9:00:31,00	9:17:20,00	0:16:49	3	1	Urb. Pedravilla	3,7	8,61
9:17:44,40	9:26:45,60	0:09:01	4	-1	Urb. Brucar	8,61	3,7
9:27:00,00	9:42:28,00	0:15:28	5	1	Urb. Pedravilla	3,7	8,61
9:50:15,00	10:00:22,00	0:10:07	6	-1	Urb. Brucar	8,61	3,7
10:00:36,00	10:18:31,00	0:17:55	7	1	Urb. Pedravilla	3,7	8,61
10:18:52,00	10:29:45,00	0:10:53	8	-1	Urb. Brucar	8,61	3,7
10:35:53,00	10:50:57,00	0:15:04	9	1	Urb. Pedravilla	3,7	8,61
10:51:24,00	11:01:27,00	0:10:03	10	-1	Urb. Brucar	8,61	3,7

2:12:56

TORRENT



TRAZADO EN PLANTA		
PK	Alineación	Radio (m)
3+140	recta	
3+677	derecha	112
3+877	recta	
3+915	derecha	280
4+121	recta	
4+214	izquierda	144
4+519	recta	
5+267	derecha	80
5+294	recta	
5+960	izquierda	536
6+207	recta	
6+415	derecha	487
6+651	recta	

7+129	derecha	153
7+304	recta	
7+313	izquierda	231
7+419	recta	
7+694	izquierda	176
7+878	recta	
7+936	derecha	372
8+044	recta	
8+494	derecha	1809
8+773	recta	

MOUNTAIN BIKE 12-12-2012

Inicio	Fin	Duración	Recorrido	Sentido		PK inicial	PK final
8:20:56,00	8:33:22,00	0:12:26	1	-1	Torrent	9	3,125
8:33:43,00	8:57:45,00	0:24:02	2	1	Montserrat	3,125	9
9:02:56,00	9:14:42,00	0:11:46	3	-1	Torrent	9	3,125
9:15:08,00	9:38:00,00	0:22:52	4	1	Montserrat	3,125	9
9:49:09,00	10:01:34,00	0:12:25	5	-1	Torrent	9	3,125
10:01:58,00	10:27:19,00	0:25:21	6	1	Montserrat	3,125	9
10:32:52,00	10:45:28,00	0:12:36	7	-1	Torrent	9	3,125
10:45:54,00	10:57:29,50	0:11:35	8	1	Montserrat	3,125	6,03
11:16:38,00	11:29:24,00	0:12:46	9	1	Torrent	3,125	8,747

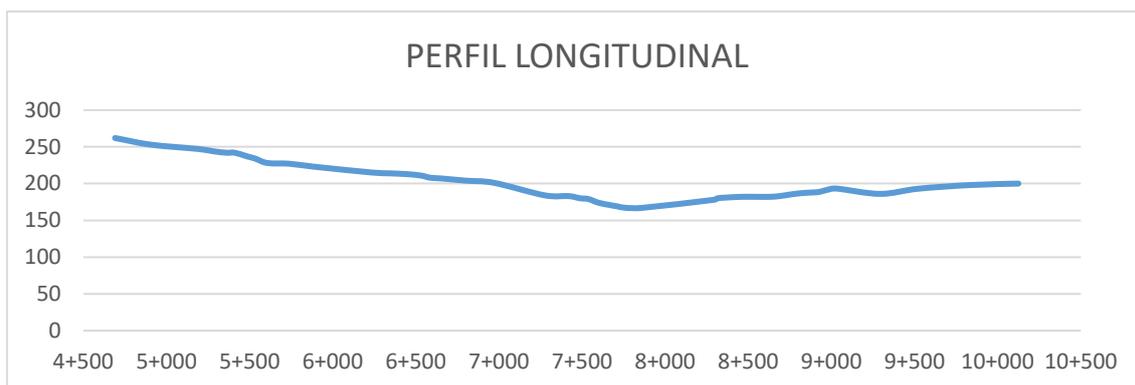
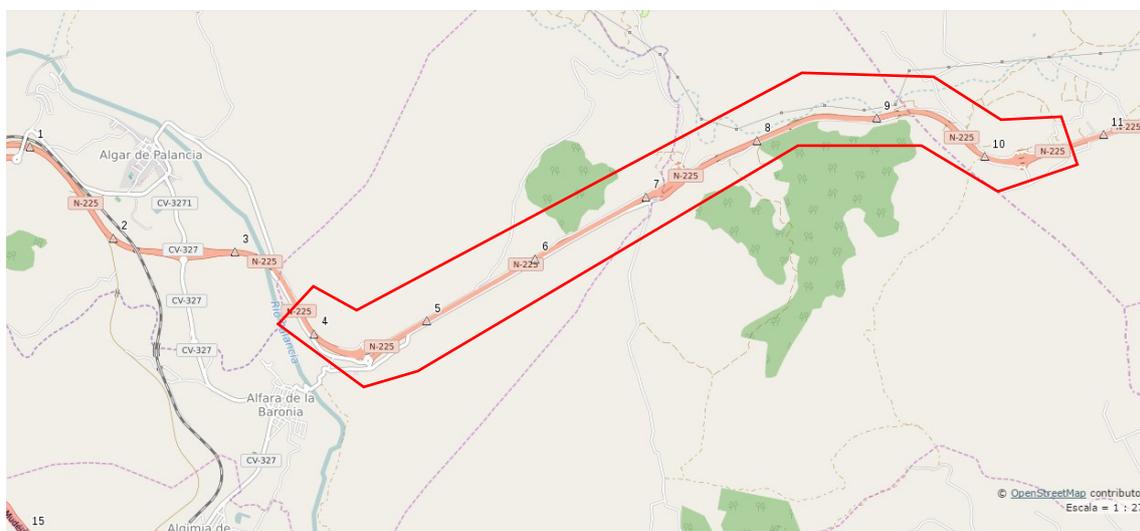
2:25:50

RACE BIKE 05-02-2013

Inicio	Fin	Duración	Recorrido	Sentido		PK inicial	PK final
8:35:56,00	8:49:02,00	0:13:06	1	-1	Torrent	9	3,125
8:49:34,00	9:15:00,00	0:25:26	2	1	Montserrat	3,125	9
9:20:40,00	9:33:37,00	0:12:57	3	-1	Torrent	9	3,125
9:34:04,00	9:57:35,00	0:23:31	4	1	Montserrat	3,125	9
10:02:35,00	10:14:38,00	0:12:03	5	-1	Torrent	9	3,125
10:15:07,00	10:38:28,00	0:23:21	6	1	Montserrat	3,125	9
10:44:53,00	10:55:18,00	0:10:25	7	-1	Torrent	9	3,125
10:55:46,00	11:15:57,00	0:20:11	8	1	Montserrat	3,125	9

2:21:00

N-225



TRAZADO EN PLANTA		
PK	Alineación	Radio (m)
4+690	recta	
7+453	derecha	2.297
7+904	recta	
8+331	derecha	354
8+661	recta	
8+905	izquierda	338
9+105	recta	
9+189	derecha	457
9+712	recta	
9+800	izquierda	517
10+076	recta	

MOUNTAIN BIKE 10-12-2012

Inicio	Fin	Duración	Recorrido	Sentido		PK inicial	PK final
8:46:55,00	9:01:34,40	0:14:39	1	1	A7	4,71	10,12
9:04:48,00	9:06:31,00	0:01:43	2	-1	A23	10,12	9,469
9:36:30,00	9:51:31,00	0:15:01	3	1	A7	4,71	10,12
9:53:32,00	10:07:57,00	0:14:25	4	-1	A23	10,12	4,71
10:16:45,00	10:31:50,50	0:15:05	5	1	A7	4,71	10,12
10:33:57,70	10:48:03,00	0:14:05	6	-1	A23	10,72	4,71
10:50:00,00	11:05:20,00	0:15:20	7	1	A7	4,71	10,12
11:07:25,00	11:14:07,00	0:06:42	8	-1	A23	10,12	7,64

1:37:01

RACE BIKE 08-02-2013

Inicio	Fin	Duración	Recorrido	Sentido		PK inicial	PK final
8:08:41,80	8:21:36,00	0:12:54	1	1	A7	4,71	10,12
8:25:56,00	8:42:22,20	0:16:26	2	-1	A23	10,72	4,71
8:44:24,60	8:56:33,00	0:12:08	3	1	A7	4,71	10,12

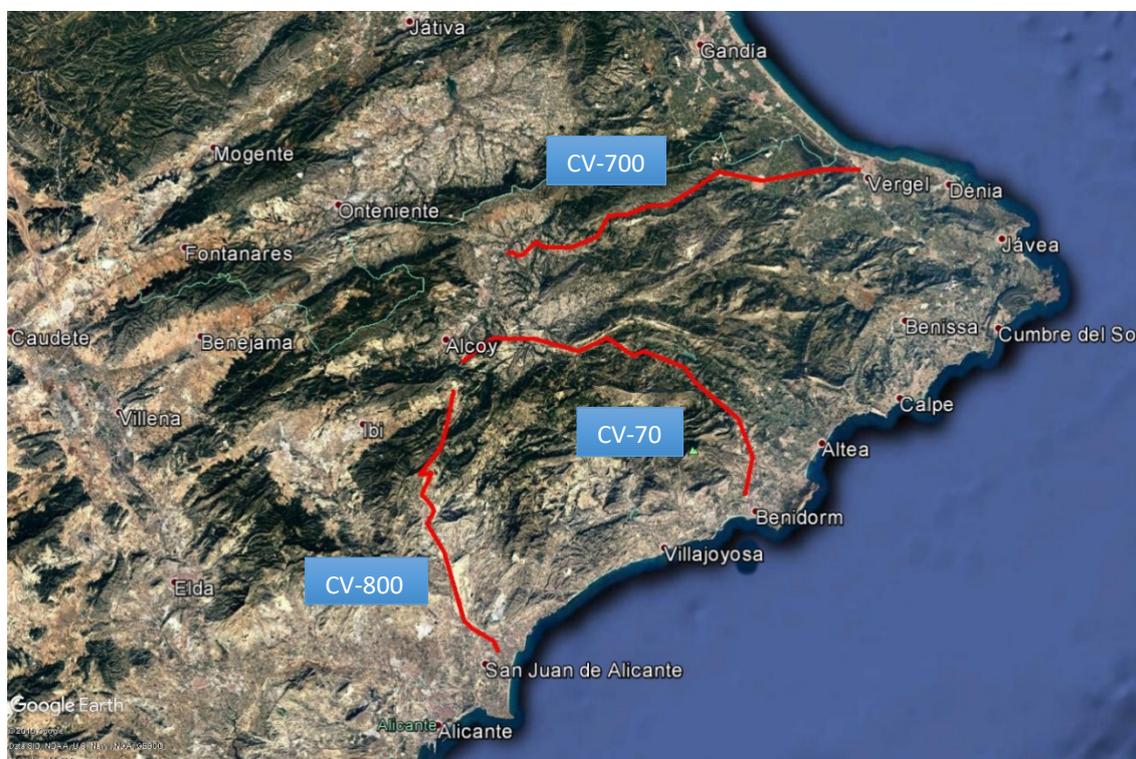
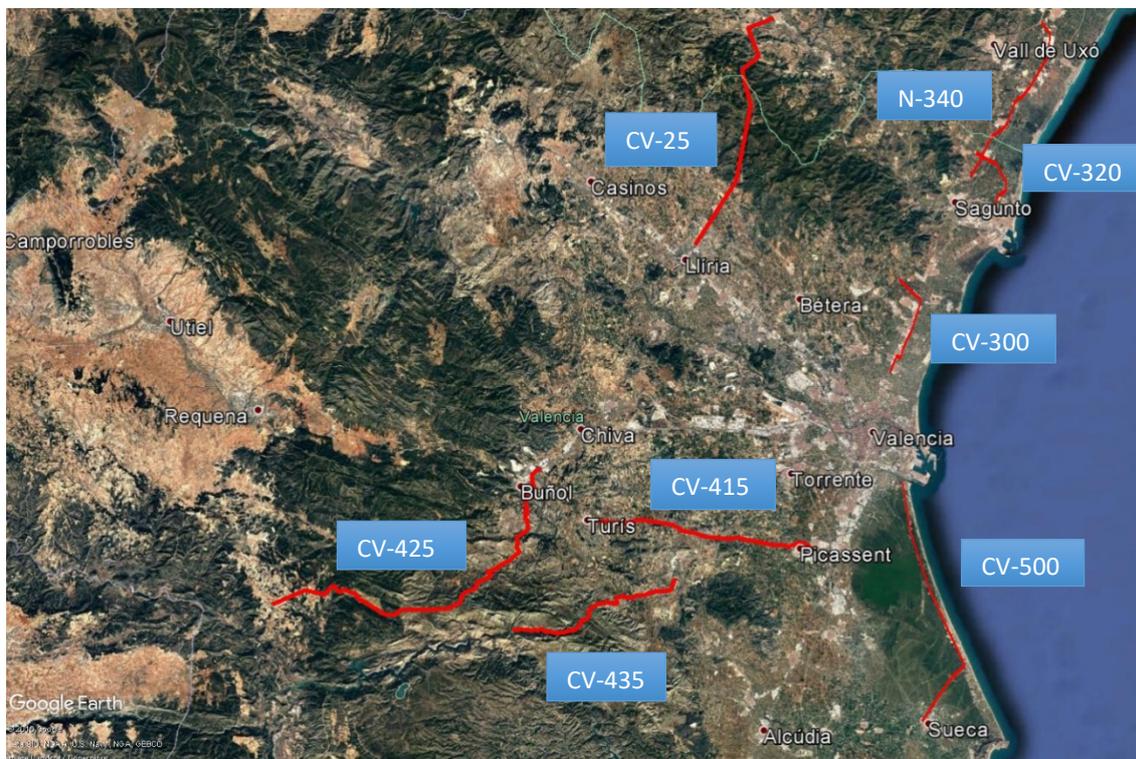
ANEXO D

CARRETERAS DE CONTRASTE

CARRETERAS DE CONTRASTE

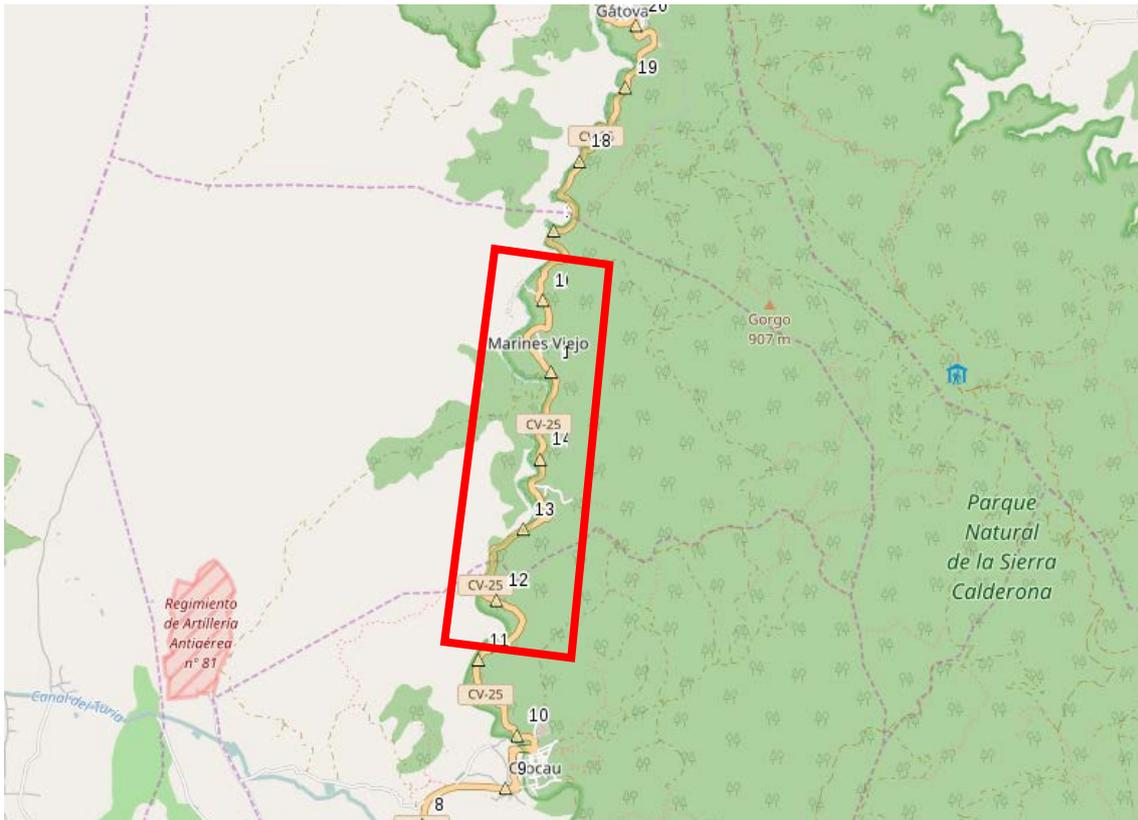
DENOMINACIÓN	CARRETERA
LLIRIA-OLOCAU-SEGORBE	CV-25
ALCOY-BENIDORM	CV-70
EL PUIG-MELIANA	CV-300
EL SALER	CV-500
BOCAIRENT-PEGO	CV-700
SAN JUAN-ALCOY	CV-800
SAGUNTO-NULES	N-340
PTO. SAGUNTO-FAURA	CV-320
PICASSENT-TURIS	CV-415
BUÑOL-MACASTRE	CV-425
DOS AGUAS	CV-435

SITUACIÓN DE LAS CARRETERAS

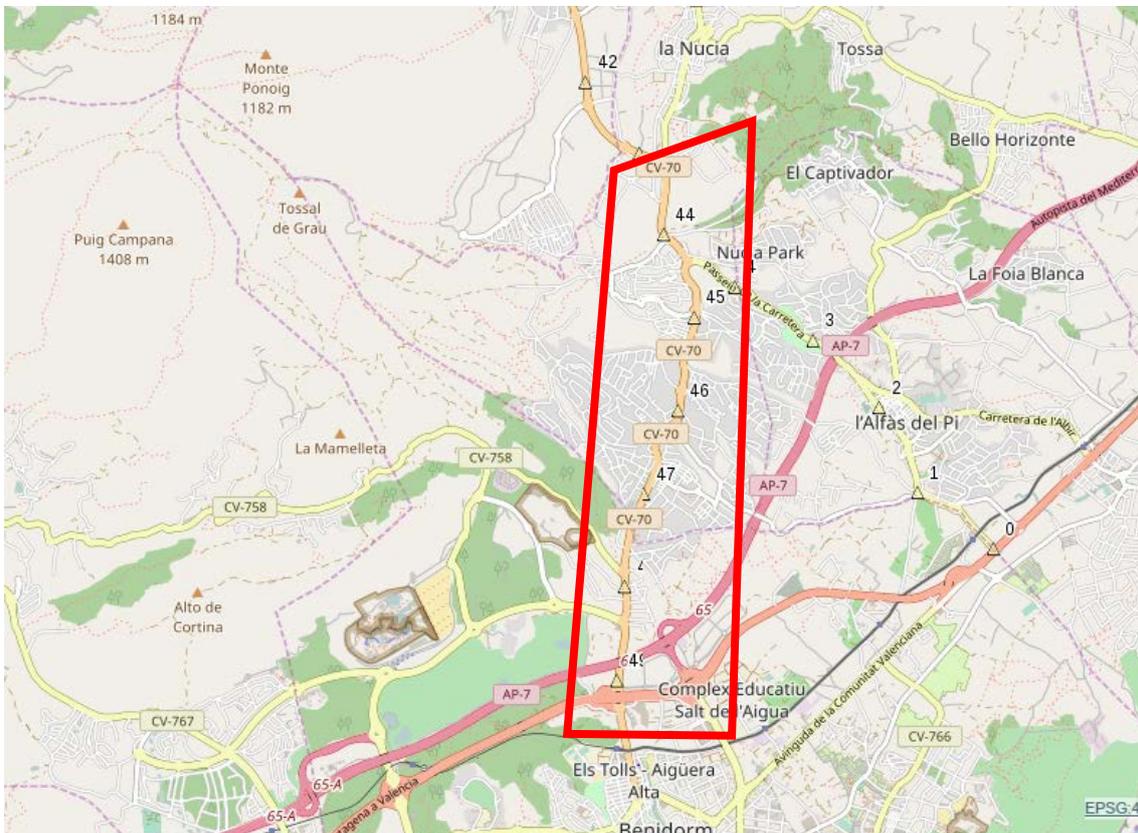


SEGMENTOS ACCIDENTES
CARRETERAS DE CONTRASTE

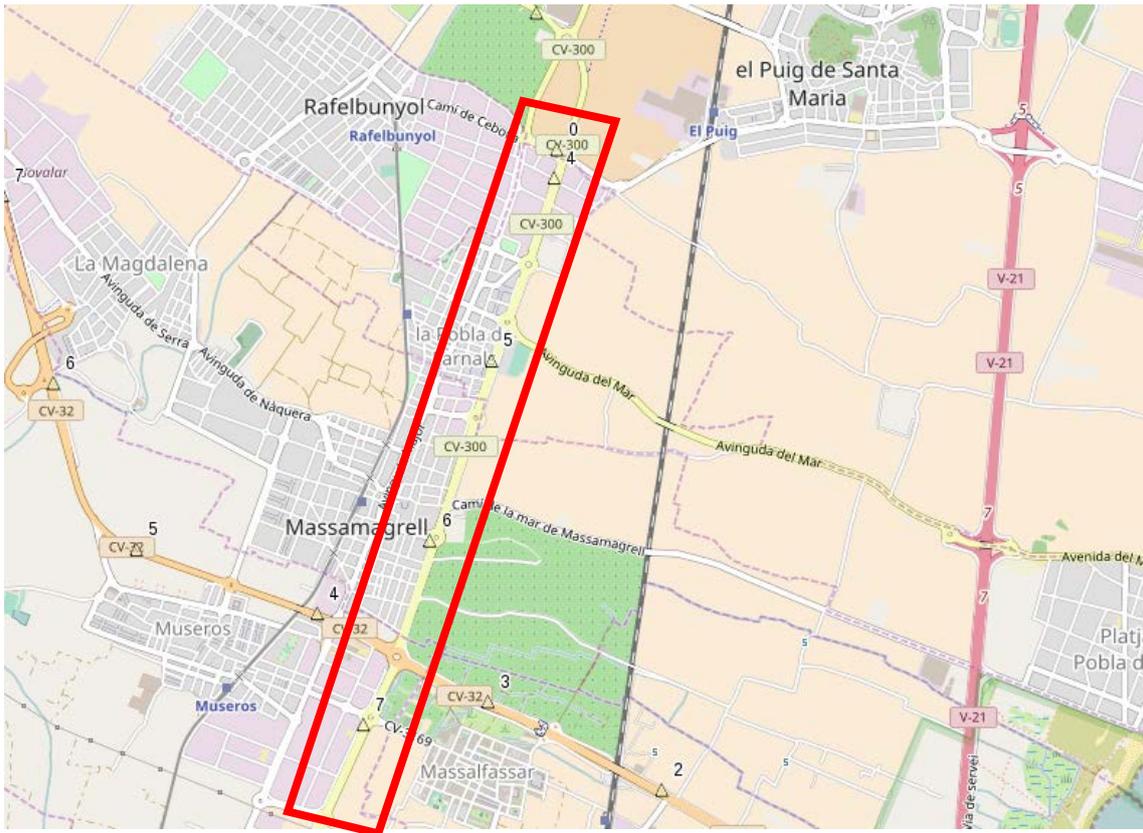
CV-25. LLIRIA - OLOCAU - SEGORBE



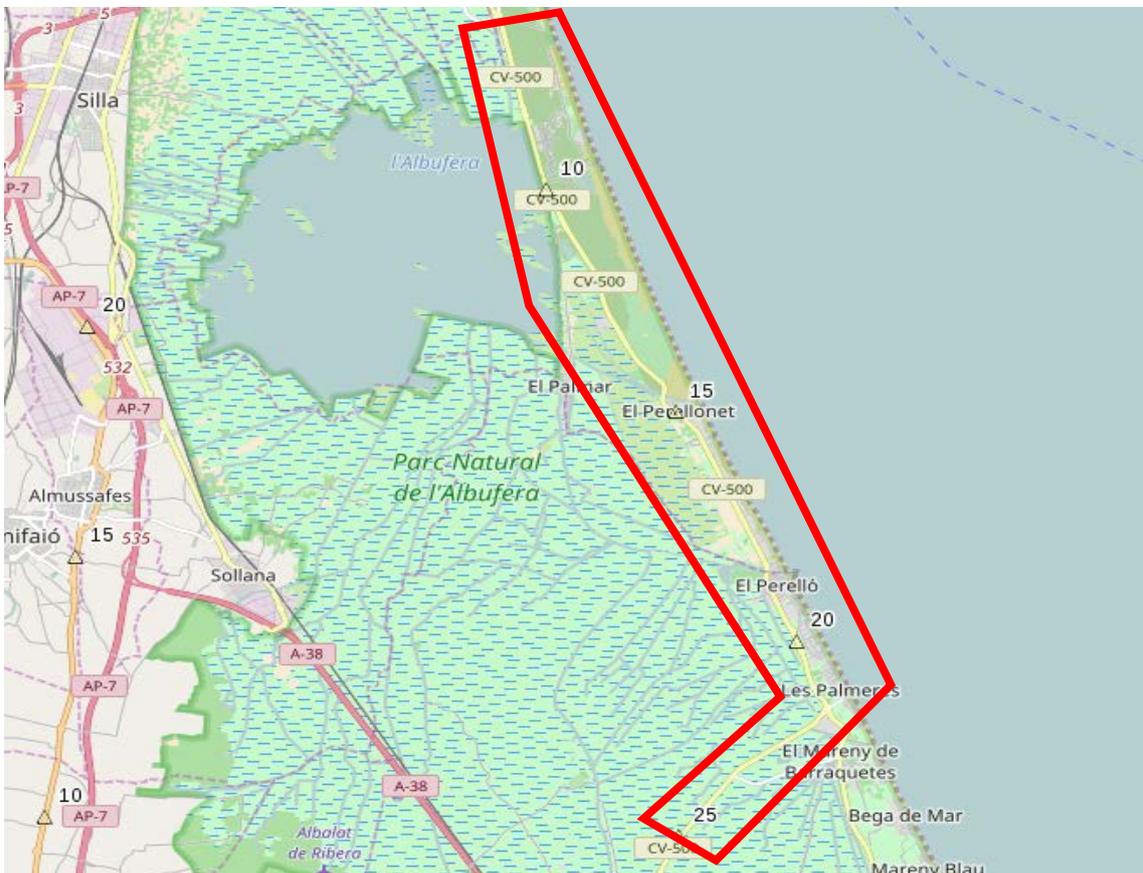
CV-70. ALCOY - BENIDORM



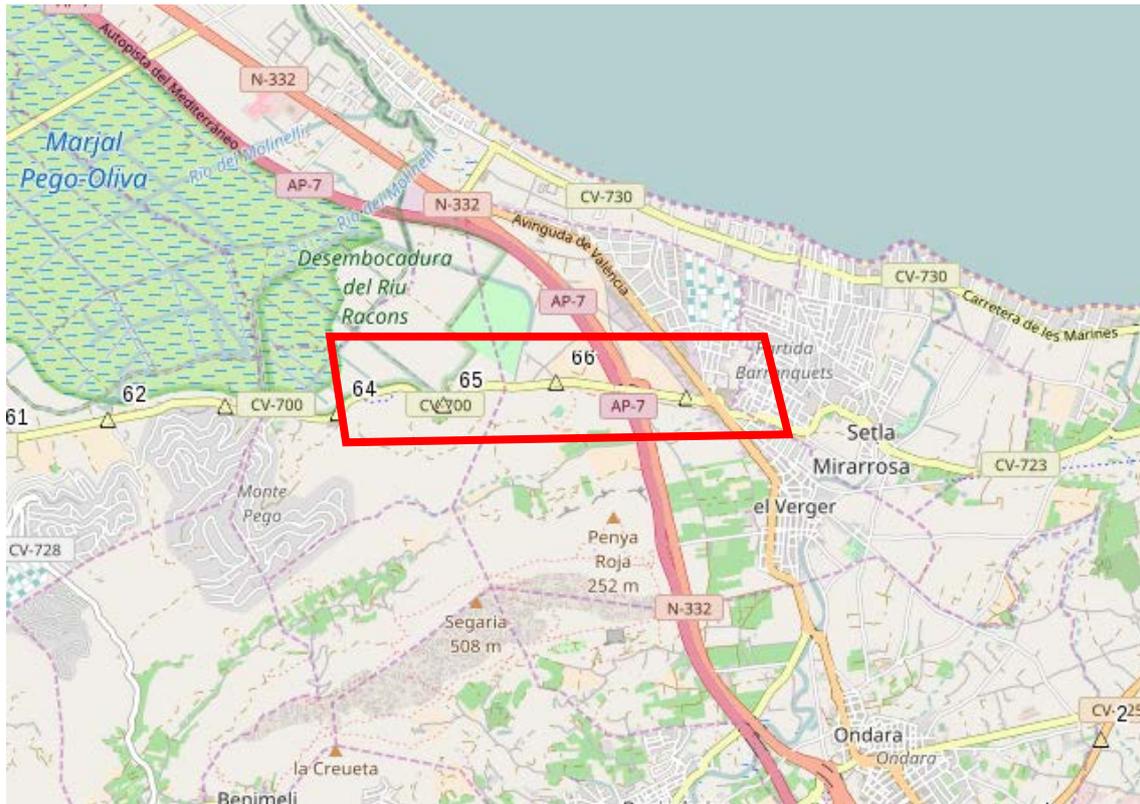
CV-300. EL PUIG - MELIANA



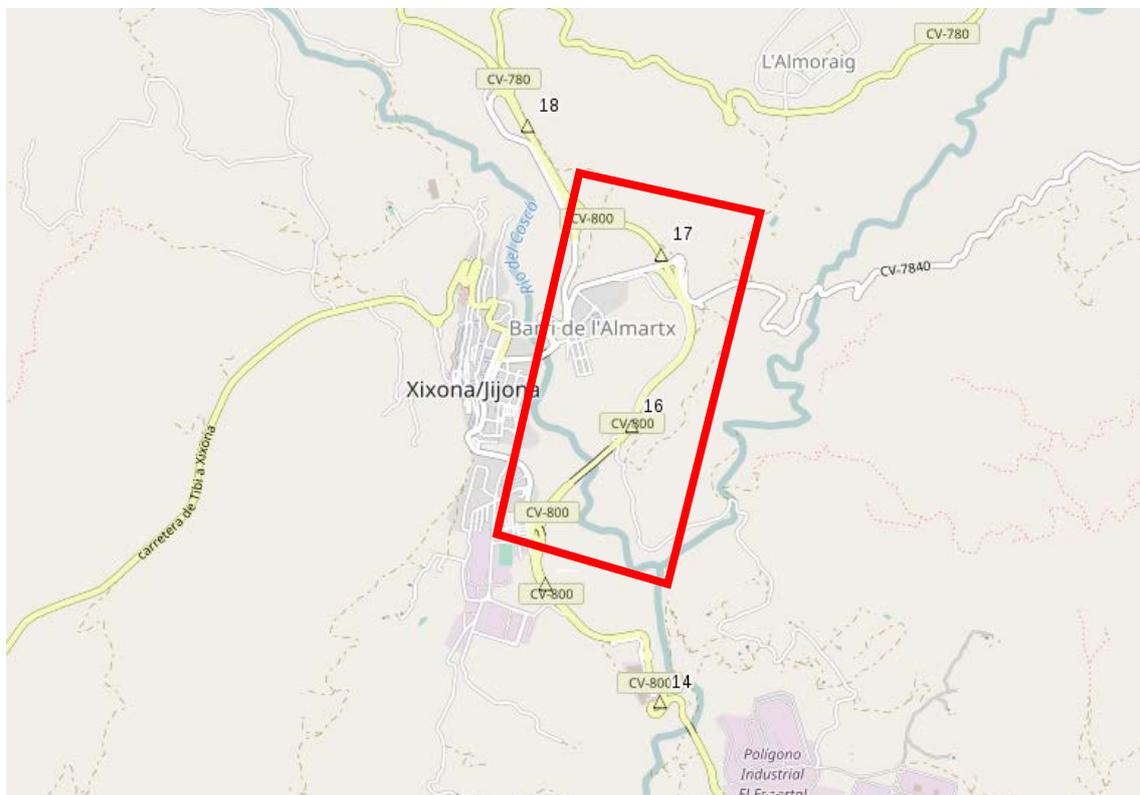
CV-500. EL SALER



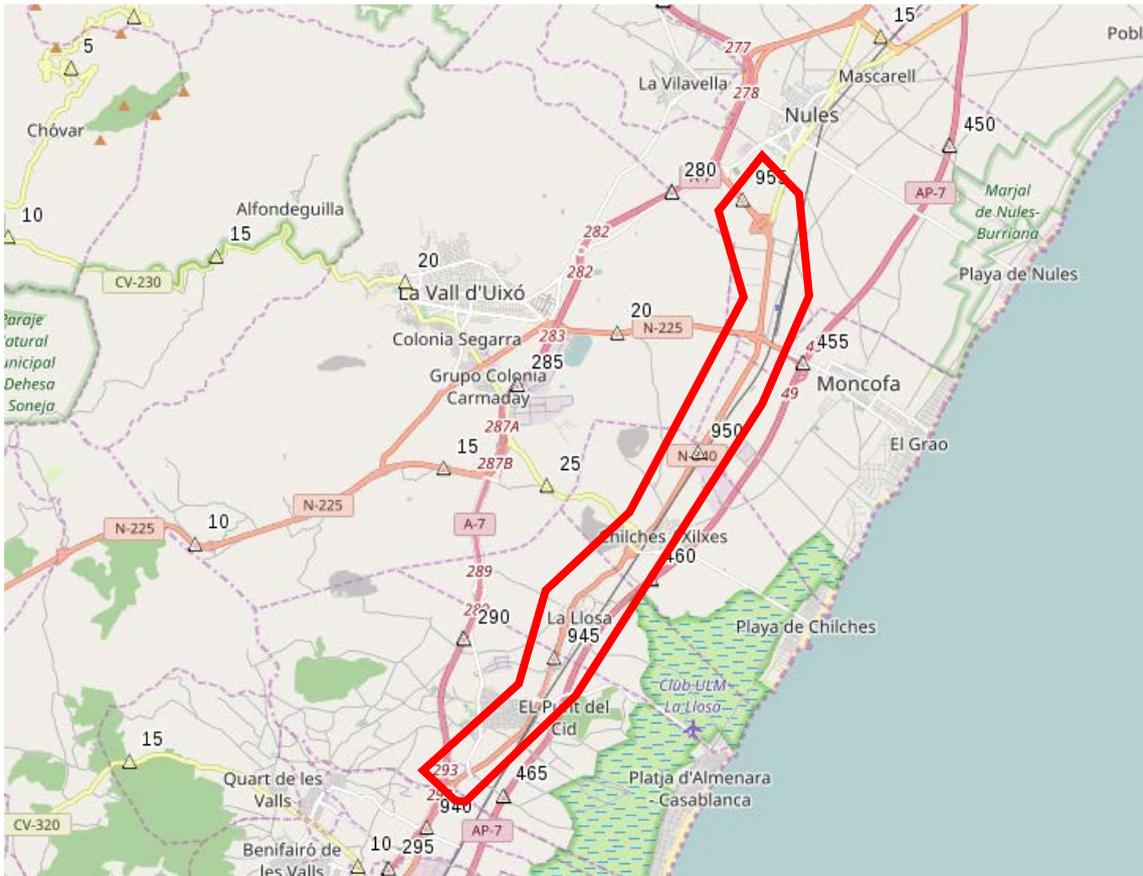
CV-700. BOCAIRENT - PEGO



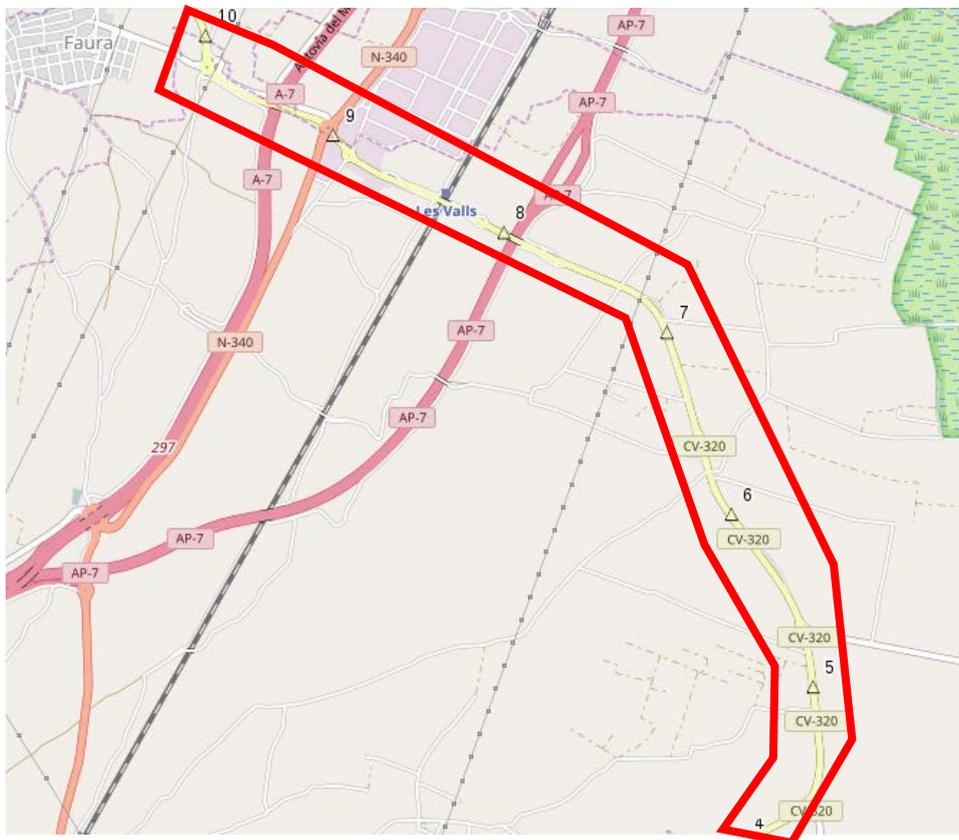
CV-800. SAN JUAN - ALCOY



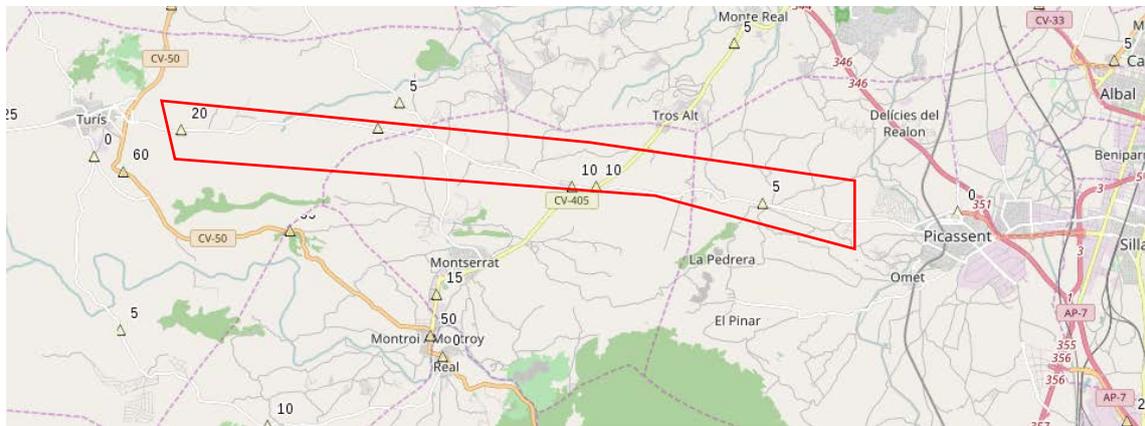
N-340. SAGUNTO - NULES



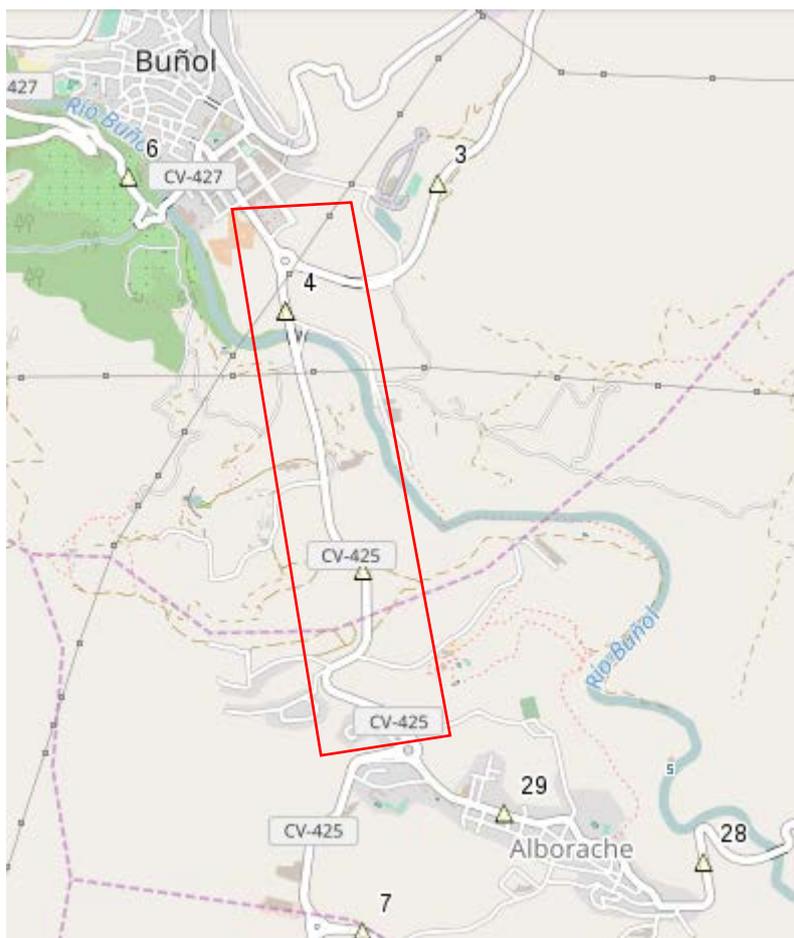
CV-320. PTO. SAGUNTO - FAURA



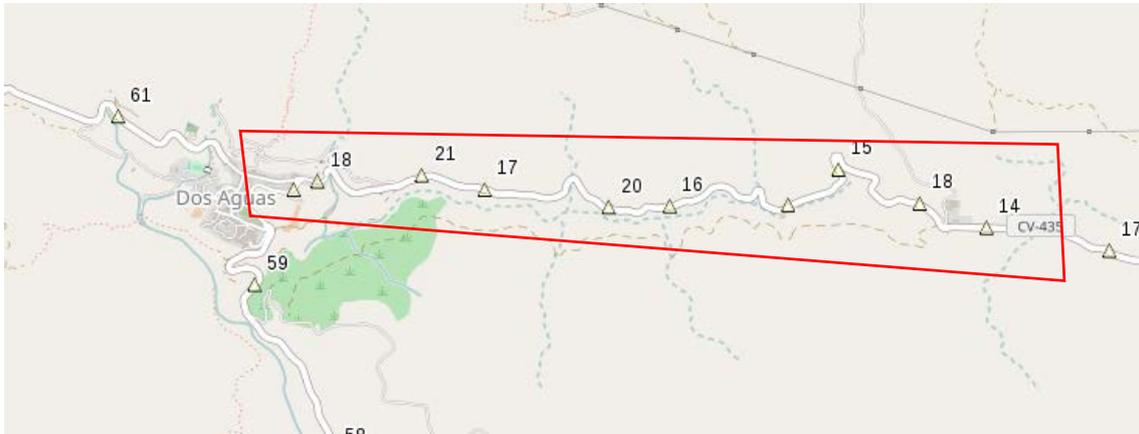
CV-415. PICASSENT - TURIS



CV-425. BUÑOL - MACASTRE



CV-435. DOS AGUAS



LOCALIZACIÓN DE ACCIDENTES POR ADELANTAMIENTO

Y

CARACTERIZACIÓN DEL SEGMENTO

TRAMO	CARRETERA	PK	AÑO	IMD	%P	Carril (m)	Arcén (m)
LLIRIA-OLOCAU-SEGORBE	CV-25	13,9	2011	896	2	2,5	0
ALCOY-BENIDORM	CV-70	43,7	2013	25.222	2,7	3,5	2,5
		47,5	2016	24.448	2,4	3,5	2,5
EL PUIG-MELIANA	CV-300	3,8	2016	14.081	2,4	3,5	1,0
		7,2	2013	12.564	3	3,5	2,5
		7,4	2010	14.061	3	3,5	2,5
		7,6	2010	14.061	3	3,5	2,5
EL SALER	CV-500	8,5	2015	16.310	2,8	3,5	1,5
		8,9	2010	19.012	1	3,5	1,5
		10,3	2009	13.007	2	3,5	1,5
		14,5	2008	11.773	3	3,5	1,5
		19,3	2010	9.924	2	3,5	1,5
		24,5	2007	9.819	3	3,5	1,5
BOCAIRENT-PEGO	CV-700	66,5	2012	5.048	2,6	3,0	1,0
SAN JUAN-ALCOY	CV-800	17,3	2009	3.122	4	3,5	1,5
SAGUNTO-NULES	N-340	941	2016	5.725	10	3,5	2,5
		944	2008	8.161	7,95	3,5	2,5
		950	2016	3.087	11,5	3,5	2,5
		953	2011	6.641	12,5	3,5	2,5
		954	2010	6.598	13,3	3,5	2,5
PTO. SAGUNTO-FAURA	CV-320	4,9	2011	8.201	4,49	3,5	2,5
		9,4	2016	8.733	1,28	3,5	1,5
PICASSENT-TURIS	CV-415	4,5	2013	4.883	2,23	3,5	0
		6,6	2016	5.136	1,7	3,5	0
		9,8	2012	4.720	1,48	3,5	0
		10,7	2013	4.601	1,67	3,5	0
		20,5	2014	2.299	1,75	3,5	0
BUÑOL-MACASTRE	CV-425	4,3	2015	6.676	3,88	3,25	0
DOS AGUAS	CV-435	18	2007	457	4,19	3,25	0

ANEXO E
ACCIDENTES

TRAMOS PRUEBAS

DATOS GENERALES									CONDICIONES DE CONTORNO				TIPO DE ACCIDENTE			
FECHA	HORA	TIPO DÍA	CARRETERA	PK	SENTIDO	MUERTOS	GRAVES	LEVES	FUERA DE INTERSECCIÓN	PRIORIDAD REGULADA POR	TIPO INTERSECCIÓN	ACONDICIONAMIENTO INTERSECCIÓN	TIPO ACCIDENTE	SUBTIPO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
07/08/2007	11:05:00	Laborable	CV-50	31	D	1	0	0		Ninguna (Sólo norma)	En T ó Y	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Camión incorporándose a intersección	Intersección
25/02/2008	18:00:00	Laborable	CV-50	41	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Coche entrando a glorieta	Glorieta
21/04/2008	10:30:00	Laborable	CV-50	6,3	D	0	1	0		Ninguna (Sólo norma)	Giratoria	Sólo isletas o paso para peatones en vía secundaria	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Furgoneta saliendo de glorieta	Glorieta
19/05/2008	13:40:00	Laborable	CV-50	0,8	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Alcance	Coche entrando a glorieta	Glorieta
15/06/2008	10:50:00	Festivo	CV-50	74	S	0	0	2	Recta	Sólo marcas viales			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Coche adelantando impacto con retrovisor	Adelantamiento
30/08/2008	12:30:00	Anterior a festivo	CV-50	17	S	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)	Enlace de Salida	Nada Especial	Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Impacto ciclista con objeto	Obstáculo
20/12/2008	8:10:00	Anterior a festivo	CV-50	29	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Furgoneta saliendo de glorieta	Glorieta
13/07/2009	14:15:00	Posterior a festivo	CV-50	14	D	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Tropezo entre ciclistas	Ciclista
28/02/2010	9:20:00	Festivo	CV-50	6,8	D	0	0	4	Recta	Sólo marcas viales			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Tropezo entre ciclistas	Ciclista
24/04/2010	12:30:00	Anterior a festivo	CV-50	32	D	0	0	2	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Tropezo entre ciclistas	Ciclista
17/04/2011	12:50:00	Festivo	CV-50	89	D	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Salida de la vía con colisión por la derecha	Choque con cuneta o bordillo	Salida de vía sólo	Ciclista
24/06/2011	0:15:00	Laborable	CV-50	14	D	0	0	1	Recta	Sólo marcas viales			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con vuelco	Salida de vía sólo	Ciclista
22/03/2012	15:10:00	Laborable	CV-50	92	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Coche entrando a glorieta	Glorieta
25/07/2012	11:00:00	Laborable	CV-50	37	A	0	1	0	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo con obstáculo en calzada	Vehículo etacionado o averiado	Choque bici contra tractor	Obstáculo
02/11/2012	7:30:00	Laborable	CV-50	1	A	0	1	0	Recta	Sólo marcas viales			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Atropello invasión arcén por camión	Adelantamiento
20/11/2012	8:15:00	Laborable	CV-50	29	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Coche entrando a glorieta	Glorieta
06/12/2012	12:45:00	Festivo	CV-50	42	D	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Atropello	Animal conducido o rebaño	Colisión contra perro	Obstáculo
08/12/2012	12:00:00	Anterior a festivo	CV-50	49	A	0	0	2	Curva suave	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Adelantamiento cohe impacta en maniobra retorno con 2º ciclista	Adelantamiento
26/01/2013	10:15:00	Anterior a festivo	CV-50	74	A	0	0	1		Señal de 'STOP'	En T ó Y	Otro tipo	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Coche entrando a glorieta	Glorieta
29/01/2013	11:25:00	Laborable	CV-50	3,9	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Coche golpea a ciclista con retrovisor durante adelantamiento	Adelantamiento
10/01/2015	9:30:00	Anterior a festivo	CV-50	9,7	D	0	0	5		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Furgón atropella a ciclistas durante adelantamiento	Adelantamiento
26/02/2015	8:30:00	Laborable	CV-50	90	A	0	1	0		Señal de 'CEDA EL PASO'			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caida en intersección	Intersección
05/05/2015	19:00:00	Laborable	CV-50	12	D	0	0	1		Semáforo			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Coche invade intersección	Intersección
11/07/2015	12:15:00	Anterior a festivo	CV-50	3,3	D	0	0	1		Señal de 'STOP'			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Coche invade intersección	Intersección
12/09/2015	8:15:00	Anterior a festivo	CV-50	42	A	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)			Salida de la vía con colisión por la derecha	Otro tipo de choque	Caida ciclista en rotonda sólo	Ciclista
10/10/2015	8:15:00	Anterior a festivo	CV-50	15	A	0	0	4		N/D			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Furgón atropella a ciclistas durante adelantamiento	Adelantamiento
30/06/2016	19:15:00	Laborable	CV-50	67	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Caida ciclista	Ciclista
27/02/2007	8:00:00	Laborable	CV-310	2,5	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	En T ó Y	Carril central de espera	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque con coche en intersección	Intersección
30/09/2007	15:30:00	Festivo	CV-310	23	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Otra	Salidad de calzada sólo	Ciclista
23/04/2008	8:00:00	Laborable	CV-310	3	N	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Coche saliendo de glorieta	Glorieta
19/05/2009	9:00:00	Laborable	CV-310	6,8	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Atropello por coche durante adelantamiento	Adelantamiento
05/09/2009	11:25:00	Anterior a festivo	CV-310	9,2	S	0	0	1		Señal de 'STOP'	En X ó +	Carril central de espera	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque con coche en intersección	Intersección
03/08/2010	9:40:00	Laborable	CV-310	19	S	1	0	0		Señal de 'STOP'	En T ó Y	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque con coche en intersección	Intersección
17/11/2010	8:50:00	Laborable	CV-310	5	D	0	0	0	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo con obstáculo en calzada	Vehículo etacionado o averiado	Choque con obstáculo	Obstáculo
01/09/2011	12:30:00	Laborable	CV-310	10	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	Otros	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque con coche en intersección	Intersección
25/02/2012	11:40:00	Anterior a festivo	CV-310	31	D	0	3	0	Curva fuerte con señal y velocidad señalizada	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Frontal	Atropello por coche sentido contrario invade curva	Frontal
11/08/2012	11:20:00	Anterior a festivo	CV-310	21	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	En T ó Y	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque con coche en intersección	Intersección
22/12/2012	12:45:00	Anterior a festivo	CV-310	22	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque con coche en intersección	Intersección
17/04/2013	20:00:00	Laborable	CV-310	20	D	0	0	1	Curva suave	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Atropello adelantamiento con retrovisor	Adelantamiento
30/08/2014	11:40:00	Anterior a festivo	CV-310	9,5	S	0	0	0		Señal de 'STOP'			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Choque con coche en intersección	Intersección
22/01/2015	10:45:00	Laborable	CV-310	4,2	D	0	0	2		N/D			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Atropello adelantamiento	Adelantamiento
02/04/2015	17:15:00	Laborable	CV-310	14	D	0	0	1		N/D			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con vuelco	Salidad de calzada sólo	Ciclista
03/04/2015	16:45:00	Laborable	CV-310	1,5	D	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Salidad de calzada sólo	Ciclista
26/04/2015	10:50:00	Festivo	CV-310	23	S	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Salidad de calzada sólo	Ciclista
17/05/2015	11:15:00	Festivo	CV-310	22	A	0	1	0		N/D			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque con coche en intersección	Intersección
13/06/2015	8:40:00	Anterior a festivo	CV-310	20	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque con coche en intersección	Intersección
13/09/2015	11:35:00	Festivo	CV-310	13	S	0	0	1		N/D			Salida de la vía con colisión por la derecha	Otro tipo de choque	Accidente en grupo	Ciclista
16/06/2016	19:15:00	Laborable	CV-310	6	D	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caida ciclista	Ciclista
16/07/2016	7:42:00	Anterior a festivo	CV-310	6,7	S	0	0	0		N/D			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Adelantamiento turismo	Adelantamiento
28/05/2016	13:45:00	Anterior a festivo	CV-310	16	D	0	1	0		Señal de 'CEDA EL PASO'			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Bache en glorieta	Obstáculo
27/03/2016	11:00:00	Festivo	CV-310	16	S	0	1	0		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque con vehículo en glorieta	Glorieta
09/07/2016	11:30:00	Anterior a festivo	CV-310	22	S	0	0	1		N/D			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Coche invade carril contrario	Frontal

24/06/2007	10:30:00	Festivo	CV-315	7	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Colisión en glorieta	Glorieta
04/07/2009	11:02:00	Anterior a festivo	CV-315	13	D	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Ciclista sólo	Ciclista
05/01/2012	8:30:00	Anterior a festivo	CV-315	16	S	0	0	1	Recta	Sólo marcas viales			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Giro incorrecto ciclista	Ciclista
25/03/2012	11:45:00	Festivo	CV-315	14	D	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)	En T ó Y	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Coche acceso incorrecto en intersección	Intersección
28/04/2012	9:08:00	Anterior a festivo	CV-315	5,7	S	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Coche entrando a glorieta	Glorieta
05/11/2012	15:25:00	Laborable	CV-315	10	A	0	0	1		Señal de 'STOP'	En T ó Y	Otro tipo	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Coche acceso incorrecto en intersección	Intersección
09/02/2013	8:00:00	Anterior a festivo	CV-315	4,8	A	0	1	0	Recta	Otra señal			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Atropello coche	Adelantamiento
13/04/2013	10:15:00	Anterior a festivo	CV-315	14	D	0	0	2	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo con obstáculo en calzada	Vehículo estacionado o averiado	Colisión con coche detenido	Obstáculo
05/09/2013	12:45:00	Laborable	CV-315	17	D	0	1	1		Ninguna (Sólo norma)	En T ó Y	Nada Especial	Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Coche giro incorrecto en intersección	Intersección
18/12/2013	17:50:00	Laborable	CV-315	16	D	0	1	0		Señal de 'STOP'	En T ó Y	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Coche acceso incorrecto en intersección	Intersección
18/02/2015	15:30:00	Laborable	CV-315	14	D	0	0	1		N/D			Colisión vehículo con obstáculo en calzada	Otro objeto o material	Choque con piedra	Obstáculo
20/04/2015	14:30:00	Posterior a festivo	CV-315	13	D	0	1	0		N/D			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Camión acceso incorrecto en intersección	Intersección
28/05/2015	18:00:00	Laborable	CV-315	11	A	0	0	3		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Coche acceso incorrecto en intersección	Intersección
04/06/2015	11:17:00	Laborable	CV-315	16	A	0	0	1		N/D			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Otra	Choque con obstáculo	Obstáculo
30/08/2015	9:00:00	Festivo	CV-315	12	S	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista sólo en glorieta	Glorieta
10/06/2016	10:00:00	Laborable	CV-315	12	A	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Choque contra camión parado en arcén	Obstáculo
23/03/2016	17:55:00	Laborable	CV-315	12	D	0	1	0		N/D			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Adelantamiento turismo	Adelantamiento
13/06/2016	8:15:00	Posterior a festivo	CV-315	12	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con vuelco	Choque contra bordillo lateral por despiste	Ciclista
26/05/2016	18:40:00	Laborable	CV-315	13	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque con vehículo en glorieta	Glorieta
18/05/2016	11:30:00	Laborable	CV-315	13	S	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque con vehículo en glorieta	Glorieta
03/04/2016	9:15:00	Festivo	CV-315	14	D	0	1	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Tropiezo entre ciclistas	Ciclista
08/03/2016	12:45:00	Laborable	CV-315	15	S	0	0	0		N/D			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Choque con turismo estacionado en arcén	Obstáculo
15/05/2007	12:00:00	Laborable	CV-333	8	D	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)	Giratoria	Otro tipo	Colisión vehículo en marcha	Alcance	Colisión con coche dentro rotonda	Glorieta
17/05/2008	10:45:00	Anterior a festivo	CV-333	0,9	A	0	0	0		Señal de 'STOP'	Giratoria	Paso para peatones o isleta en centro vía principal	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Colisión con coche acceso rotonda	Glorieta
06/10/2008	11:00:00	Laborable	CV-333	8,4	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Atropello coche	Adelantamiento
01/09/2012	8:45:00	Anterior a festivo	CV-333	1,4	D	0	1	0		Ninguna (Sólo norma)	Giratoria	Otro tipo	Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Bicicleta sólo	Ciclista
30/04/2013	11:30:00	Laborable	CV-333	4	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	En T ó Y	Otro tipo	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Coche no respeta acceso intersección	Intersección
28/07/2013	10:45:00	Festivo	CV-333	13	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con vuelco	Atropello coche	Adelantamiento
04/08/2013	7:55:00	Festivo	CV-333	11	S	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	En T ó Y	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Coche no respeta acceso intersección	Intersección
27/11/2014	11:30:00	Laborable	CV-333	0	S	0	0	2		Otra señal			Colisión vehículo en marcha	Frontal	Choque frontal con coche	Frontal
21/07/2015	11:00:00	Laborable	CV-333	3,5	S	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Bicicleta sólo	Ciclista
24/10/2015	11:55:00	Anterior a festivo	CV-333	8,8	S	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Bicicleta sólo	Ciclista
28/11/2015	9:15:00	Anterior a festivo	CV-333	8,5	A	0	0	1		N/D			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Coche no respeta acceso intersección	Intersección
18/06/2016	13:55:00	Anterior a festivo	CV-333	0,8	A	0	0	1		Señal de 'STOP'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque con motocicleta en glorieta	Glorieta
03/04/2016	9:20:00	Festivo	CV-333	4	D	0	0	1		Señal de 'STOP'			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Tropiezo entre ciclistas	Ciclista
19/04/2016	9:05:00	Laborable	CV-333	9,5	A	0	0	1		N/D			Atropello	Peatones	Choque con personas en arcén	Obstáculo
04/05/2016	13:00:00	Laborable	CV-333	12	D	0	0	2		N/D			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Tropiezo entre ciclistas	Ciclista
23/01/2016	10:30:00	Anterior a festivo	CV-376	7,3	A	0	0	1		N/D			Colisión vehículo en marcha	Múltiple o en caravana	Tropiezo entre ciclistas	Ciclista
10/01/2007	11:30:00	Laborable	CV-405	6,2	A	0	1	0	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Atropello camión	Adelantamiento
28/01/2007	12:15:00	Festivo	CV-405	5,8	A	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)	Enlace de Salida	Nada Especial	Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Colisión entre ciclistas grupo	Ciclista
16/04/2007	9:50:00	Posterior a festivo	CV-405	5,1	A	0	0	2		Ninguna (Sólo norma)	Enlace de Entrada	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Alcance	Coche accediendo desde cruce	Intersección
07/06/2007	19:45:00	Laborable	CV-405	11	D	0	2	0	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Atropello coche	Adelantamiento
07/02/2008	18:15:00	Laborable	CV-405	205	D	0	0	1		Señal de 'STOP'	Otros	Nada Especial	Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Coche accediendo desde cruce	Intersección
11/09/2008	12:15:00	Laborable	CV-405	6	D	0	0	2	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Colisión contra piedra	Obstáculo
26/10/2008	9:40:00	Festivo	CV-405	6,9	D	0	1	0	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Caída por bache	Obstáculo
26/10/2008	10:00:00	Festivo	CV-405	6,9	D	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída por bache	Obstáculo
25/03/2009	13:55:00	Laborable	CV-405	2,8	N	0	1	0		Señal de 'CEDA EL PASO'	Enlace de Entrada	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Alcance	Coche accediendo desde cruce	Intersección
12/07/2009	5:50:00	Festivo	CV-405	10	A	0	0	0		Señal de 'STOP'	Otros	Raqueta de giro izquierda	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Coche accediendo desde cruce	Intersección
16/08/2009	12:30:00	Festivo	CV-405	10	A	0	0	1		Señal de 'STOP'	En T ó Y	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Ciclista accediendo desde cruce	Intersección
20/08/2009	10:45:00	Laborable	CV-405	8,5	D	0	0	1	Recta	Sólo marcas viales			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Ciclista sólo	Ciclista
09/04/2011	13:30:00	Anterior a festivo	CV-405	10	D	0	1	0		Señal de 'CEDA EL PASO'	Otros	Otro tipo	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Atropello coche	Adelantamiento
01/05/2011	16:45:00	Festivo	CV-405	3,7	D	0	0	1	Curva suave	Ninguna (Sólo norma)			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con vuelco	Ciclista sólo	Ciclista
28/06/2011	13:30:00	Laborable	CV-405	4,5	A	0	0	1		Señal de 'STOP'	En T ó Y	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Ciclista accediendo desde cruce	Intersección
06/08/2011	0:05:00	Anterior a festivo	CV-405	11	A	0	1	0	Curva fuerte sin señalizar	Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Atropello coche	Adelantamiento
15/05/2012	16:16:00	Laborable	CV-405	2,5	N	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	Giratoria	Otro tipo	Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Ciclista sólo	Ciclista
26/06/2012	13:00:00	Laborable	CV-405	7	A	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	En T ó Y	Nada Especial	Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Coche accediendo desde cruce	Intersección
09/04/2013	7:45:00	Posterior a festivo	CV-405	2,3	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Coche entrando a glorieta	Glorieta
23/06/2015	9:30:00	Laborable	CV-405	15	D	0	0	1		N/D			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Atropello ciclista	Adelantamiento

29/11/2015	12:30:00	Festivo	CV-405	1,3	D	0	0	2		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Coche accediendo desde cruce	Intersección
06/06/2016	12:30:00	Posterior a festivo	CV-405	2,2	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque con turismo en glorieta	Glorieta
11/12/2016	16:00:00	Festivo	CV-405	4,6	A	0	0	1		Señal de 'STOP'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Incorporación de coche en intersección	Intersección
04/02/2016	16:55:00	Laborable	CV-405	6,1	A	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Adelantamiento turismo	Adelantamiento
05/09/2009	12:30:00	Anterior a festivo	N-225	12	A	0	0	2	Curva suave	Ninguna (Sólo norma)			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Colisión con perro	Obstáculo
17/07/2010	11:30:00	Anterior a festivo	N-225	20	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con vuelco	Ciclista sólo	Ciclista
12/03/2012	16:50:00	Laborable	N-225	20	A	0	1	0		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Coche accede a intersección	Intersección
01/09/2012	8:37:00	Anterior a festivo	N-225	12	D	0	2	0	Curva suave	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Atropello coche adelantamiento	Adelantamiento
24/07/2013	8:50:00	Laborable	N-225	50	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Atropello furgoneta adelantamiento retrovisor	Adelantamiento
14/08/2014	10:45:00	Laborable	N-225	21	A	0	0	1		N/D			Colisión vehículo con obstáculo en calzada	Otro objeto o material	Colisión contra coche en arcén	Obstáculo
07/09/2014	10:40:00	Festivo	N-225	14	A	0	0	1		Sólo marcas viales			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Ciclista sólo	Ciclista
25/10/2014	9:20:00	Anterior a festivo	N-225	5	D	1	0	1		N/D			Colisión vehículo en marcha	Frontal	Ciclista invade arcén contrario y es atropellado	Frontal
07/10/2015	9:00:00	Laborable	N-225	19	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Coche entrando a glorieta	Glorieta
07/02/2016	12:15:00	Festivo	N-225	2,7	D	0	1	0		N/D			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con despeñamiento	Caída ciclista	Ciclista

CARRETERAS CONTRASTE

DATOS GENERALES									CONDICIONES DE CONTORNO				TIPO DE ACCIDENTE		DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
FECHA	HORA	TIPO DÍA	CARRETERA	PK	SENTIDO	MUERTOS	GRAVES	LEVES	FUERA DE INTERSECCIÓN	PRIORIDAD REGULADA POR	TIPO INTERSECCIÓN	ACONDICIONAMIENTO INTERSECCIÓN	TIPO ACCIDENTE	SUBTIPO		
28/10/2016	9:50:00	Laborable	CV-25	1,4	A	0	0	2		Paso para peatones			Colisión vehículo en marcha	Múltiple o en caravana	Choque en glorieta con coche	Glorieta
14/07/2012	20:30:00	Anterior a festivo	CV-25	2,5	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Salida de la vía sin colisión por la izquierda	Con vuelco	Caída ciclista	Ciclista
12/09/2015	8:20:00	Anterior a festivo	CV-25	2,9	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
27/11/2013	20:00:00	Laborable	CV-25	3	D	0	0	1		Señal de 'STOP'	En X ó +	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque con coche en intersección	Intersección
07/07/2008	15:40:00	Posterior a festivo	CV-25	5,5	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque frontal con coche	Frontal
23/07/2012	12:30:00	Laborable	CV-25	5,5	D	0	1	0		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
14/10/2016	17:00:00	Laborable	CV-25	5,5	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
03/03/2013	11:30:00	Festivo	CV-25	5,5	N	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
02/06/2012	9:00:00	Anterior a festivo	CV-25	8,8	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Tropiezo entre ciclistas	Ciclista
27/11/2015	15:45:00	Laborable	CV-25	8,8	D	0	0	1		N/D			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con vuelco	Caída ciclista	Ciclista
02/10/2011	14:30:00	Festivo	CV-25	13,9	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Impacto con retrovisor durante adelantamiento coche	Adelantamiento
26/01/2013	12:15:00	Anterior a festivo	CV-25	17,9	S	0	0	1	Curva fuerte con señal y velocidad señalizada	Ninguna (Sólo norma)			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con vuelco	Tropiezo entre ciclistas	Ciclista
24/08/2013	10:00:00	Anterior a festivo	CV-25	23,5	D	0	0	1	Curva suave	Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
22/05/2010	11:45:00	Anterior a festivo	CV-25	24,1	D	0	0	1	Curva suave	Sólo marcas viales			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Caída ciclista	Ciclista
26/10/2013	11:00:00	Anterior a festivo	CV-25	25	A	0	1	0	Curva suave	Ninguna (Sólo norma)			Salida de la vía con colisión por la izquierda	Otro tipo de choque	Caída ciclista	Ciclista
22/05/2016	12:20:00	Festivo	CV-25	25,1	S	1	1	0		N/D			Colisión vehículo en marcha	Frontal	Choque frontal con moto	Frontal
11/07/2015	9:20:00	Anterior a festivo	CV-25	25,4	A	0	0	1		N/D			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con despeñamiento	Caída ciclista	Ciclista
22/05/2016	11:00:00	Festivo	CV-25	26,1	A	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
29/04/2012	13:15:00	Festivo	CV-70	16,9	S	0	0	1	Curva fuerte con señal y velocidad señalizada	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Frontal	Choque en frontal con coche	Frontal
25/02/2015	13:15:00	Laborable	CV-70	17,9	D	0	0	1		N/D			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con vuelco	Caída ciclista	Ciclista
06/08/2010	16:30:00	Laborable	CV-70	36,8	A	0	0	0	Curva fuerte con señal y velocidad señalizada	Ninguna (Sólo norma)			Salida de la vía con colisión por la derecha	Otro tipo de choque	Caída ciclista	Ciclista
21/03/2013	15:30:00	Laborable	CV-70	36,8	A	0	0	1	Curva fuerte con señal y velocidad señalizada	Ninguna (Sólo norma)			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Caída ciclista	Ciclista
14/02/2014	17:25:00	Laborable	CV-70	36,8	A	0	1	0		N/D			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Otra	Caída ciclista	Ciclista
23/08/2015	10:45:00	Festivo	CV-70	36,8	A	0	0	1		N/D			Salida de la vía con colisión por la derecha	Otro tipo de choque	Caída ciclista	Ciclista
20/02/2012	12:30:00	Posterior a festivo	CV-70	36,9	A	0	1	1	Curva fuerte con señal y velocidad señalizada	Sólo marcas viales			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Otra	Caída ciclista	Ciclista
27/03/2013	11:15:00	Laborable	CV-70	36,9	A	0	0	1	Curva fuerte con señal y velocidad señalizada	Sólo marcas viales			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con vuelco	Caída ciclista	Ciclista
19/07/2015	12:00:00	Festivo	CV-70	37	A	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
31/03/2012	11:45:00	Anterior a festivo	CV-70	42,5	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Choque en glorieta con coche	Glorieta
11/04/2012	18:30:00	Laborable	CV-70	43,2	A	0	1	0	Curva suave	Paso para peatones			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
03/12/2013	6:40:00	Laborable	CV-70	43,7	A	0	0	1	Recta	Sólo marcas viales			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Alcance por coche adelantando	Adelantamiento
04/08/2010	17:15:00	Laborable	CV-70	44,1	D	0	0	1		Señal de 'STOP'	En T ó Y	Otro tipo	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
03/09/2016	21:00:00	Anterior a festivo	CV-70	45	A	0	0	1		Paso para peatones			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
01/12/2015	10:15:00	Laborable	CV-70	45,2	A	0	0	1		Señal de 'STOP'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
02/11/2015	9:30:00	Posterior a festivo	CV-70	45,5	A	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
02/03/2016	10:00:00	Laborable	CV-70	47,5	D	0	0	1		N/D			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Alcance por coche adelantando	Adelantamiento
21/11/2012	17:00:00	Laborable	CV-70	47,7	A	0	0	1		Señal de 'STOP'	En T ó Y	Otro tipo	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque con coche en intersección	Intersección
15/01/2015	15:50:00	Laborable	CV-70	47,7	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
26/03/2014	16:00:00	Laborable	CV-70	47,7	S	0	0	0		N/D			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
03/08/2012	9:50:00	Laborable	CV-70	47,9	S	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Paso para peatones o isleta en centro vía principal	Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Choque en intersección con coche	Intersección

19/09/2015	11:00:00	Anterior a festivo	CV-70	48,5	A	0	0	1		Señal de 'STOP'			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
18/09/2007	11:00:00	Laborable	CV-70	48,6	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Paso para peatones o isleta en centro vía principal	Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Choque en intersección con coche	Intersección
13/12/2012	8:50:00	Laborable	CV-70	48,7	A	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	Giratoria	Nada Especial	Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Caída ciclista	Ciclista
08/08/2014	19:55:00	Laborable	CV-70	48,7	D	0	0	0		N/D			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Caída ciclista	Ciclista
01/07/2013	14:10:00	Posterior a festivo	CV-70	48,8	A	1	0	0	Recta	Sólo marcas viales			Colisión vehículo con obstáculo en calzada	Vehículo etacionado o averiado	Choque contra coche detenido	Obstáculo
04/12/2009	10:45:00	Laborable	CV-70	49	A	0	1	0		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
26/03/2014	13:15:00	Laborable	CV-70	49	D	0	0	1		N/D			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
22/07/2009	11:40:00	Laborable	CV-70	49,1	A	0	0	1		Sólo marcas viales	Giratoria	Otro tipo	Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Choque en glorieta con coche	Glorieta
05/08/2016	14:10:00	Laborable	CV-300	2,5	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
25/09/2012	14:10:00	Laborable	CV-300	3,8	A	0	0	2		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Alcance	Choque en glorieta con coche	Glorieta
05/09/2016	20:15:00	Posterior a festivo	CV-300	3,8	D	0	0	1		Sólo marcas viales			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Alcance por coche adelantando	Adelantamiento
27/04/2010	17:20:00	Laborable	CV-300	3,9	D	0	1	0		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
23/10/2012	22:00:00	Laborable	CV-300	4,5	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	Enlace de Salida	Otro tipo	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque con coche en intersección	Intersección
19/07/2015	7:20:00	Festivo	CV-300	4,8	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Choque en glorieta con coche	Glorieta
15/09/2016	18:30:00	Laborable	CV-300	4,8	A	0	0	0		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
14/03/2010	11:00:00	Festivo	CV-300	5	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	Giratoria	Nada Especial	Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Choque en glorieta con coche	Glorieta
23/12/2008	13:20:00	Laborable	CV-300	5,2	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
17/06/2013	11:30:00	Posterior a festivo	CV-300	6	D	0	1	0		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Otro tipo	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
11/07/2012	19:30:00	Laborable	CV-300	6,5	S	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque en intersección con coche	Intersección
12/04/2008	14:05:00	Laborable	CV-300	6,9	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
22/05/2015	15:05:00	Laborable	CV-300	6,9	A	0	0	1		Señal de 'STOP'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
08/01/2013	6:45:00	Laborable	CV-300	7,2	A	0	1	0		Ninguna (Sólo norma)	Otros	Paso para peatones o isleta en centro vía principal	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Alcance por coche adelantando	Adelantamiento
14/06/2013	12:00:00	Laborable	CV-300	7,4	A	0	1	0	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo con obstáculo en calzada	Vehículo etacionado o averiado	Choque en glorieta con coche	Glorieta
25/06/2009	19:05:00	Laborable	CV-300	7,4	D	0	1	0	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
05/03/2010	20:25:00	Laborable	CV-300	7,4	D	0	1	0		Señal de 'STOP'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Alcance por coche adelantando	Adelantamiento
05/06/2010	9:20:00	Anterior a festivo	CV-300	7,6	D	0	1	3	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Alcance por coche adelantando	Adelantamiento
16/04/2013	16:10:00	Laborable	CV-300	8	D	0	1	0	Recta	Otra señal			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Choque con vehículo detenido	Obstáculo
01/10/2016	12:20:00	Anterior a festivo	CV-300	9,5	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
13/11/2016	12:10:00	Festivo	CV-300	10,1	A	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
06/10/2013	9:50:00	Festivo	CV-500	0	N	0	0	1	Curva fuerte sin señalizar	Sólo marcas viales			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con vuelco	Caída ciclista	Ciclista
03/10/2010	10:30:00	Festivo	CV-500	4,7	D	0	0	2		Agente	Enlace de Entrada	Nada Especial	Colisión vehículo con obstáculo en calzada	Vehículo etacionado o averiado	Choque en intersección con coche	Intersección
05/07/2010	16:00:00	Posterior a festivo	CV-500	5	A	0	1	0		Sólo marcas viales	En T ó Y	Nada Especial	Colisión vehículo con obstáculo en calzada	Otro objeto o material	Choque con obstáculo	Obstáculo
19/10/2013	9:15:00	Anterior a festivo	CV-500	6,5	A	0	0	1		Sólo marcas viales	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
16/04/2015	13:00:00	Laborable	CV-500	6,8	S	0	0	0		N/D			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque frontal con coche	Frontal
28/11/2009	9:30:00	Anterior a festivo	CV-500	7	D	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)	Enlace de Entrada	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Múltiple o en caravana	Tropiezo entre ciclistas	Ciclista
21/12/2008	8:30:00	Festivo	CV-500	8	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Múltiple o en caravana	Tropiezo con bache	Obstáculo
04/08/2016	11:55:00	Laborable	CV-500	8	D	0	0	2		N/D			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Tropiezo entre ciclistas	Ciclista
20/08/2016	8:15:00	Anterior a festivo	CV-500	8,1	A	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Tropiezo entre ciclistas	Ciclista
03/10/2015	12:15:00	Anterior a festivo	CV-500	8,5	A	0	0	3		N/D			Colisión vehículo en marcha	Múltiple o en caravana	Tropiezo entre ciclistas	Ciclista
10/07/2011	8:50:00	Festivo	CV-500	8,5	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta

27/04/2015	11:10:00	Posterior a festivo	CV-500	8,5	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
05/08/2015	18:20:00	Laborable	CV-500	8,5	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Alcance por coche adelantando	Adelantamiento
27/08/2015	20:15:00	Laborable	CV-500	8,5	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque en intersección con coche	Intersección
26/01/2009	11:50:00	Posterior a festivo	CV-500	8,8	D	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo con obstáculo en calzada	Otro objeto o material	Tropezamiento con ramas en arcén	Obstáculo
27/06/2010	13:20:00	Festivo	CV-500	8,9	A	0	0	0	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Alcance moto adelantando	Adelantamiento
30/06/2015	10:30:00	Laborable	CV-500	9	D	0	0	2		N/D			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
13/12/2016	14:50:00	Laborable	CV-500	9,5	D	0	0	1		Semáforo			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Choque de intersección otn otche	Intersección
16/08/2011	12:50:00	Laborable	CV-500	9,8	D	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
23/03/2016	9:25:00	Laborable	CV-500	9,9	A	0	0	1		N/D			Colisión vehículo con obstáculo en calzada	Otro objeto o material	Tropezamiento barro arcén	Obstáculo
17/06/2010	11:15:00	Laborable	CV-500	10	S	0	0	0		Señal de 'STOP'	En X ó +	Carril central de espera	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
28/07/2009	8:15:00	Laborable	CV-500	10,3	A	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	Otros	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Alcance retrovisor furgoneta adelantando	Adelantamiento
11/08/2015	11:00:00	Laborable	CV-500	11	A	0	0	1		Señal de 'STOP'			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Choque en intersección con coche	Intersección
01/10/2016	11:45:00	Anterior a festivo	CV-500	11,3	D	0	0	0		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
21/05/2011	12:45:00	Anterior a festivo	CV-500	12,5	A	0	0	2	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
12/05/2007	9:45:00	Anterior a festivo	CV-500	12,7	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
02/06/2016	16:15:00	Laborable	CV-500	12,7	A	0	1	0		Señal de 'STOP'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con autobús	Intersección
08/05/2011	20:00:00	Festivo	CV-500	12,8	S	0	0	0		Señal de 'STOP'	En T ó Y	Carril central de espera	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
20/06/2013	14:25:00	Laborable	CV-500	13,1	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	En T ó Y	Carril central de espera	Salida de la vía sin colisión por la derecha	En llano	Caída ciclista	Ciclista
29/10/2016	11:00:00	Anterior a festivo	CV-500	13,5	A	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
17/09/2016	12:05:00	Anterior a festivo	CV-500	14,5	D	0	0	1		N/D			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Caída ciclista	Ciclista
18/10/2008	12:30:00	Anterior a festivo	CV-500	14,5	N	0	1	0	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Alcance coche adelantando	Adelantamiento
27/10/2009	10:00:00	Laborable	CV-500	15,5	A	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	En T ó Y	Paso para peatones o isleta en centro vía principal	Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Choque en intersección con coche	Intersección
12/08/2016	19:30:00	Laborable	CV-500	16,5	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Choque en intersección con coche	Intersección
29/07/2012	11:00:00	Festivo	CV-500	17	D	0	0	3		Ninguna (Sólo norma)	En T ó Y	Nada Especial	Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Choque en intersección con coche	Intersección
03/04/2016	16:33:00	Festivo	CV-500	19	A	0	0	1		Semáforo			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
27/07/2010	12:20:00	Laborable	CV-500	19,3	D	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)	En T ó Y	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Alcance por coche adelantando	Adelantamiento
13/07/2012	9:05:00	Laborable	CV-500	19,4	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo con obstáculo en calzada	Otro objeto o material	Tropezamiento con piedra arcén	Obstáculo
30/06/2015	20:15:00	Laborable	CV-500	19,5	D	0	0	1		N/D			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
03/09/2008	11:40:00	Laborable	CV-500	20	D	0	0	0		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída en glorieta	Glorieta
07/07/2016	19:05:00	Laborable	CV-500	20,5	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
06/09/2012	10:30:00	Laborable	CV-500	20,7	A	0	0	3	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Múltiple o en caravana	Caída ciclista	Ciclista
07/10/2010	11:00:00	Laborable	CV-500	20,8	D	1	0	0	Curva suave	Ninguna (Sólo norma)			Salida de la vía con colisión por la derecha	Choque con cuneta o bordillo	Caída ciclista	Ciclista
20/12/2014	10:20:00	Anterior a festivo	CV-500	21	A	0	0	1		N/D			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
16/03/2013	11:05:00	Anterior a festivo	CV-500	21,4	A	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Alcance	Choque en glorieta con coche	Glorieta
18/10/2015	12:00:00	Festivo	CV-500	21,4	D	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
27/05/2014	11:45:00	Laborable	CV-500	21,5	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque en glorieta	Glorieta
23/03/2012	11:15:00	Laborable	CV-500	24,4	D	0	0	0		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
21/05/2007	1:40:00	Posterior a festivo	CV-500	24,5	A	1	0	0	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Atropello	Peatón sosteniendo bicicleta	Alcance por coche adelantando	Adelantamiento
30/10/2016	12:30:00	Festivo	CV-700	12,4	A	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
03/11/2016	18:00:00	Laborable	CV-700	17,1	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta

18/08/2014	10:10:00	Posterior a festivo	CV-700	17,3	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
14/08/2007	13:30:00	Anterior a festivo	CV-700	27	N	0	1	0	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Atropello	Animales sueltos	Tropezamiento con perro	Obstáculo
20/10/2007	11:15:00	Laborable	CV-700	30,5	D	0	0	0	Curva fuerte con señal y velocidad señalizada	Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
07/12/2015	11:25:00	Posterior a festivo	CV-700	30,8	D	0	0	1		N/D			Salida de la vía con colisión por la derecha	Otro tipo de choque	Caída ciclista	Ciclista
28/07/2013	13:15:00	Festivo	CV-700	36,7	A	0	0	1	Curva fuerte con señal y sin velocidad señalizada	Ninguna (Sólo norma)			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Caída ciclista	Ciclista
05/04/2015	14:00:00	Festivo	CV-700	40,5	A	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Obstáculo
01/08/2014	11:30:00	Laborable	CV-700	41,2	A	0	0	0		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
15/05/2010	11:10:00	Anterior a festivo	CV-700	44,2	S	0	0	0		Sólo marcas viales	En T ó Y	Nada Especial	Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Choque en intersección con coche	Intersección
02/09/2012	11:30:00	Festivo	CV-700	46,5	A	0	0	2	Curva fuerte con señal y sin velocidad señalizada	Sólo marcas viales			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
23/03/2014	13:00:00	Festivo	CV-700	47,5	N	0	0	2		N/D			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque frontal contra moto	Frontal
12/06/2016	12:15:00	Festivo	CV-700	48,5	A	0	0	0		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
31/07/2013	10:45:00	Laborable	CV-700	49,5	A	0	0	1	Recta	Sólo marcas viales			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Otra	Caída ciclista	Ciclista
21/03/2016	17:45:00	Posterior a festivo	CV-700	54	A	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
24/10/2015	13:30:00	Anterior a festivo	CV-700	62,3	A	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque frontal la cohe	Intersección
08/11/2013	12:45:00	Laborable	CV-700	62,9	A	0	0	2	Curva suave	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Frontal	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
10/08/2010	9:15:00	Laborable	CV-700	63,7	A	0	0	1		Señal de 'STOP'	Enlace de Salida	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
24/10/2012	15:00:00	Laborable	CV-700	66,5	D	0	0	1	Recta	Sólo marcas viales			Salida de la vía sin colisión por la izquierda	Otra	Alcance por moto adelantando	Adelantamiento
18/12/2014	9:15:00	Laborable	CV-734	0,9	A	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
03/07/2016	13:50:00	Festivo	CV-734	3,5	A	0	0	0		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
01/09/2016	19:20:00	Laborable	CV-734	4	A	0	0	0		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
08/08/2016	7:50:00	Posterior a festivo	CV-734	4,5	D	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
03/09/2014	8:30:00	Laborable	CV-734	7,1	S	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
22/03/2012	9:55:00	Laborable	CV-800	1,1	D	0	1	0	Curva suave	Sólo marcas viales			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque frontal con camión	Frontal
13/05/2007	19:20:00	Festivo	CV-800	1,5	A	0	0	1		Señal de 'STOP'	En T ó Y	Otro tipo	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque con coche en intersección	Intersección
27/04/2008	9:00:00	Festivo	CV-800	3	A	0	0	0	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Tropezamiento con piedra arcén	Obstáculo
09/09/2014	11:15:00	Laborable	CV-800	3,4	D	0	1	0		Señal de 'STOP'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en intersección con coche	Intersección
15/01/2011	10:15:00	Anterior a festivo	CV-800	10,1	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Tropezamiento con piedra arcén	Obstáculo
04/08/2007	8:50:00	Anterior a festivo	CV-800	12,4	A	0	1	2	Curva fuerte con señal y velocidad señalizada	Ninguna (Sólo norma)			Salida de la vía con colisión por la derecha	Otro tipo de choque	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
05/04/2009	10:30:00	Festivo	CV-800	17,3	A	0	1	0	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Alcance por coche adelantando	Adelantamiento
14/01/2015	10:50:00	Laborable	CV-800	20,5	D	0	0	0		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída por mancha gasoil	Obstáculo
04/08/2010	11:50:00	Laborable	CV-800	24,8	D	0	1	1	Curva fuerte con señal y velocidad señalizada	Ninguna (Sólo norma)			Salida de la vía con colisión por la derecha	Choque con cuneta o bordillo	Caída ciclista	Ciclista
04/11/2007	12:30:00	Festivo	CV-800	30,8	A	0	1	0	Curva fuerte con señal y velocidad señalizada	Ninguna (Sólo norma)			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Caída ciclista	Ciclista
03/05/2015	12:55:00	Festivo	CV-800	31,5	A	0	0	0		N/D			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
09/07/2008	20:30:00	Laborable	N-340	937	N	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque en glorieta con caravana	Glorieta
19/11/2012	12:15:00	Posterior a festivo	N-340	940,1	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo con obstáculo en calzada	Vehículo etacionado o averiado	Tropezamiento con coche detenido	Obstáculo
10/07/2016	10:45:00	Festivo	N-340	941	A	0	0	0		Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Alcance por coche adelantando	Adelantamiento
28/06/2016	10:35:00	Laborable	N-340	941	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
15/05/2014	20:15:00	Laborable	N-340	942	D	0	0	1		N/D			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
29/10/2013	17:15:00	Laborable	N-340	942,8	A	0	0	1	Recta	Ninguna (Sólo norma)			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
10/10/2015	11:40:00	Anterior a festivo	N-340	943,4	D	0	3	6		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista

04/09/2008	12:00:00	Laborable	N-340	944,4	D	0	1	0		Ninguna (Sólo norma)	Enlace de Salida	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Alcance por adelantamiento camión	Adelantamiento
25/04/2015	9:30:00	Anterior a festivo	N-340	944,9	A	0	0	1		N/D			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
26/12/2009	9:45:00	Posterior a festivo	N-340	945	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'	En T ó Y	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Alcance	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
04/08/2013	7:20:00	Festivo	N-340	945,3	D	0	0	1		Recta			Salida de la vía con colisión por la derecha	Choque con cuneta o bordillo	Caída ciclista	Ciclista
13/01/2013	9:00:00	Festivo	N-340	945,4	A	0	1	0		Curva suave			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
14/06/2012	8:30:00	Laborable	N-340	946,9	A	0	0	2		Recta			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
08/12/2016	11:50:00	Laborable	N-340	949	D	0	0	3		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
24/07/2016	8:15:00	Festivo	N-340	949,5	A	0	1	0		N/D			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Alcance adelantamiento furgoneta	Adelantamiento
15/04/2013	9:30:00	Posterior a festivo	N-340	949,6	A	0	0	1		Recta			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
30/05/2015	12:30:00	Anterior a festivo	N-340	950,2	D	0	0	1		N/D			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Caída ciclista	Ciclista
02/09/2012	12:30:00	Festivo	N-340	950,6	D	0	0	1		Recta			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
02/06/2010	18:30:00	Laborable	N-340	950,9	A	0	0	0		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Lateral	Choque en glorieta con coche	Glorieta
04/02/2012	10:40:00	Anterior a festivo	N-340	951,3	D	0	0	1		Recta			Vuelco en calzada	Vuelco en la calzada	Caída ciclista	Ciclista
04/08/2013	7:55:00	Festivo	N-340	951,5	A	0	0	1		Recta			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
12/03/2015	11:50:00	Laborable	N-340	951,9	A	0	0	3		N/D			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
13/07/2011	8:45:00	Laborable	N-340	952,8	D	0	1	0		Recta			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Alcance por adelantamiento vehículo mixto	Adelantamiento
14/05/2016	8:45:00	Anterior a festivo	N-340	953,1	D	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
08/07/2016	19:10:00	Laborable	N-340	953,4	D	0	0	1		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
04/05/2010	10:30:00	Laborable	N-340	953,5	A	0	0	2		Recta			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Alcance por adelantamiento coche	Adelantamiento
28/07/2011	8:15:00	Laborable	N-340	954,2	D	0	1	0		Recta			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
05/05/2016	8:45:00	Laborable	N-340	955,5	D	0	0	1		Ninguna (Sólo norma)			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Caída ciclista	Ciclista
20/02/2011	18:15:00	Festivo	CV-320	4,9	A	0	0	0		Señal de 'CEDA EL PASO'	Giratoria	Nada Especial	Colisión vehículo en marcha	Alcance	Alcance por adelantamiento coche	Adelantamiento
12/09/2016	21:25:00	Posterior a festivo	CV-320	9,4	A	0	0	2		N/D			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Alcance por adelantamiento moto	Adelantamiento
12/07/2016	10:25:00	Laborable	CV-320	9,9	D	0	0	1		Señal de 'CEDA EL PASO'			Atropello	Peatón aislado o en grupo	Choque en glorieta con coche	Glorieta
19/07/2013	20:30:00	Laborable	CV-415	4,5	A	0	1	0		Recta			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Alcance por adelantamiento coche	Adelantamiento
08/10/2016	13:10:00	Anterior a festivo	CV-415	6,6	D	0	0	0		N/D			Colisión vehículo en marcha	Frontolateral	Alcance por adelantamiento coche	Adelantamiento
24/04/2012	20:00:00	Laborable	CV-415	9,8	A	0	0	3		Curva suave			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Alcance por adelantamiento coche	Adelantamiento
19/09/2013	11:00:00	Laborable	CV-415	10,7	A	0	1	0		Recta			Colisión vehículo en marcha	Lateral	Alcance por adelantamiento coche	Adelantamiento
04/10/2014	12:38:00	Anterior a festivo	CV-415	20,5	A	0	0	1		N/D			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con vuelco	Alcance por adelantamiento coche	Adelantamiento
07/11/2015	12:15:00	Anterior a festivo	CV-425	4,3	D	0	0	2		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Alcance por adelantamiento moto	Adelantamiento
24/05/2008	12:45:00	Anterior a festivo	CV-425	29	A	0	0	1		Curva suave			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Con despeñamiento	Caída ciclista	Ciclista
07/04/2016	18:40:00	Laborable	CV-435	7,8	A	0	0	2		N/D			Otro tipo de accidente	Otro tipo de accidente	Tropezamiento entre ciclistas	Ciclista
31/03/2012	11:30:00	Anterior a festivo	CV-435	10,9	A	0	0	1		Curva suave			Salida de la vía sin colisión por la derecha	Otra	Caída ciclista	Ciclista
15/05/2010	10:10:00	Anterior a festivo	CV-435	12,9	A	0	0	1		Curva suave			Salida de la vía con colisión por la izquierda	Choque con árbol o poste	Caída ciclista	Ciclista
10/11/2007	9:45:00	Anterior a festivo	CV-435	18	D	0	0	2		Recta			Colisión vehículo en marcha	Alcance	Alcance por adelantamiento moto	Adelantamiento