

# **Análisis de la funcionalidad del tráfico en carreteras convencionales en función de la distribución y características de sus zonas de adelantamiento**

**ANA TSUI MORENO CHOU**

**EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA DE DOCTORADO



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

---

# **Análisis de la funcionalidad del tráfico en carreteras convencionales en función de la distribución y características de sus zonas de adelantamiento**

Marzo de 2015

---

**TESIS DOCTORAL**

**Presentada por:**

Ana Tsui Moreno Chou

**Dirigida por:**

Prof. Dr. Alfredo García García

*Colección Tesis Doctorales*

© Ana Tsui Moreno Chou

© 2015, de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València  
Telf.: 963 877 012 / [www.lalibreria.upv.es](http://www.lalibreria.upv.es)

ISBN: 978-84-9048-434-0 (versión impresa)

Queda prohibida la reproducción, distribución, comercialización, transformación, y en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de todo o parte de los contenidos de esta obra sin autorización expresa y por escrito de sus autores.

A mis padres



# Resumen

## **Análisis de la funcionalidad del tráfico en carreteras convencionales en función de la distribución y características de sus zonas de adelantamiento**

Las vías deben ser seguras para todos sus usuarios, pero también deben satisfacer la demanda de tráfico con un nivel de servicio aceptable. En la normativa española de diseño geométrico se indica que en las carreteras convencionales el porcentaje de zonas de adelantamiento deseable es del 40 % por cada sentido de circulación y debe estar lo más uniformemente repartido posible, para asegurar su adecuada funcionalidad, y se propone la metodología del Manual de Capacidad americano (HCM 2010) para su estimación.

El HCM 2010 basa la calidad del tráfico en tres medidas de desempeño: la velocidad media, el porcentaje de tiempo en cola y el porcentaje de velocidad libre. En ellas, el efecto de las zonas de adelantamiento se traduce en unos coeficientes de ajuste en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido a lo largo del segmento. Estos coeficientes no dependen de la distribución y las características de las zonas de adelantamiento, a pesar de que pueden modificar el comportamiento del tráfico. Además, se desarrollaron en base a simulaciones calibradas con datos americanos de los años setenta.

La presente Tesis Doctoral desarrolla y profundiza el análisis de medidas de desempeño de tráfico en carreteras convencionales, en concreto el efecto que las zonas de adelantamiento tienen en ellas, para la evaluación de su funcionalidad. Para ello, se tomaron datos experimentales en zonas de adelantamiento en España y se evaluaron, por un lado, las medidas de desempeño en la sección de carretera y por otro lado, la efectividad de las zonas de adelantamiento. Asimismo, se calibra por primera vez a las condiciones españolas un microsimulador de tráfico con algoritmos genéticos, a partir de los datos observacionales, y se aplica a nuevas configuraciones, variando características geométricas (porcentaje de zona de adelantamiento, longitud media de las zonas de adelantamiento y su distribución) y de tráfico (volumen direccional, reparto y porcentaje de pesados). Así, se puede determinar la afección de las zonas de adelantamiento en la funcionalidad de un segmento de carretera.

Todo ello ha permitido, por un lado, el desarrollo de criterios técnicos para la adecuada inclusión de zonas de adelantamiento en el diseño geométrico de una carretera convencional, y por otro lado, la propuesta de una metodología para evaluar la calidad del tráfico en carreteras convencionales españolas.

Marzo 2015

Ana Tsui Moreno Chou  
anmoch@cam.upv.es





# Resum

## **Anàlisi de les mesures de rendiment del tràfic en carreteres convencionals en funció de la distribució i característiques de les zones d'avançament**

Les carreteres han de ser segures per a tots els seus usuaris, però també han de satisfer la demanda de tràfic amb un nivell de servici acceptable. En la normativa espanyola de disseny geomètric s'indica que a las carreteres convencionals, el percentatge de zones d'avançament permès desitjable és del 40% per cada sentit de circulació. Les zones han de estar repartides tan uniformement com siga possible, per tal d'assegurar la seua funcionalitat. Es proposa la metodologia del Manual de Capacitat americà (HCM 2010) per a la seua estimació.

El HCM 2010 basa la qualitat del tràfic en tres mesures de rendiment: la velocitat mitjana, el percentatge de temps en cola i el percentatge de velocitat lliure. L'efecte de les zones d'avançament en aquelles mesures es tradueix en l'ús d'uns coeficients d'ajust en funció del percentatge de zones d'avançament permès al llarg del segment. Aquests coeficients no depenen ni de la distribució ni de les característiques de les zones d'avançament, factors que podrien modificar el comportament del tràfic. A més, els coeficients es van desenvolupar en base a simulacions calibrades amb dades americanes dels anys setanta.

La present Tesi Doctoral desenvolupa i profunditza en l'anàlisi de les mesures de rendiment del tràfic en carreteres convencionals. Concretament, en l'efecte que les zones d'avançament tenen en elles, per tal d'avaluar la seua funcionalitat. Per tot allò, es van obtenir dades experimentals en zones d'avançament d'Espanya, i es van avaluar, d'una banda, les mesures de rendiment en la secció de la carretera, i d'altra, l'efectivitat de les zones d'avançament. També es va calibrar, per primera vegada, un microsimulador de tràfic amb les condicions espanyoles i emprant algorismes genètics. El model calibrat es va aplicar a noves configuracions de segments de carretera, variant les seues característiques geomètriques (percentatges de zones d'avançament permès, longitud mitjana de les zones i distribució al llarg del segment) i de tràfic (volum direccional, repartiment i percentatge de vehicles pesats). D'aquesta manera es va poder determinar l'afecció de les zones d'avançament en la funcionalitat d'un segment de carretera.

Tot allò ha permès, d'una banda, el desenvolupament de criteris tècnics per incloure de manera adequada les zones d'avançament en el disseny geomètric d'una carretera convencional. D'altra banda, s'ha proposat una metodologia per avaluar la qualitat del tràfic a les carreteres convencionals espanyoles.

Març 2015

Ana Tsui Moreno Chou  
anmoch@cam.upv.es



# Abstract

## **Operational analysis of two-lane highways depending on the distribution and characteristics of their passing zones**

Two-lane highways must be safe for the motorists, but they also need to provide operational efficiency. The Spanish geometric design standards indicate that the desirable proportion of passing zones is 40 % of the total length for each travel direction; and passing zones should be evenly distributed. The standards indirectly expect to accommodate the design hourly volume.

The Highway Capacity Manual (HCM 2010) methodology is used in Spain to evaluate traffic operation and quality of service. Three performance measures are used in two-lane highways: average travel speed; percent time spent following; and, percent free flow. The effect of passing is considered through adjustment factors to average speed and percent time spent following. They depend on the percentage of no passing zones and were obtained through simulations in TWOPAS, which was calibrated with field data from the 70's.

The PhD thesis develops and analyzes in detail two-lane highways performance measures and the effect of passing zones. To do so, current passing behavior was documented. The analysis included performance measures at one section of the highway and effectiveness of passing zones. Then, TWOPAS was calibrated and validated using genetic algorithms. The model was applied to an ideal two-lane highway varying directional traffic flow, directional split, percentage of no passing zones and average passing zone length. More than 300000 scenarios were evaluated.

The analysis allowed to develop technical criteria to adequately include passing zones in two-lane highways considering their operational impacts. Moreover, the HCM 2010 methodology was adapted to Spanish driver behavior.

March 2015

Ana Tsui Moreno Chou  
anmoch@cam.upv.es



# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>I</b>
<b>Resum</b>	<b>I</b>
<b>Abstract</b>	<b>III</b>
<b>Índice general</b>	<b>VII</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>XI</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>XV</b>
<b>1. Antecedentes</b>	<b>1</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>3</b>
2.1. Necesidad de investigación . . . . .	5
2.2. Organización del documento . . . . .	5
<b>3. Estado del arte</b>	<b>7</b>
3.1. Diseño y señalización de zonas de adelantamiento . . . . .	7
3.1.1. España . . . . .	7
3.1.2. Otros países . . . . .	8
3.2. Funcionamiento de las zonas de adelantamiento . . . . .	10
3.2.1. Modelos teóricos . . . . .	10
3.2.1.1. Wardrop (1952) . . . . .	10
3.2.1.2. Daganzo (1975) . . . . .	10
3.2.1.3. Troutbeck (1982) . . . . .	11
3.2.1.4. Mc Lean (1989) . . . . .	12
3.2.2. Estudios experimentales . . . . .	12
3.2.2.1. Normann (1942) . . . . .	12
3.2.2.2. Dommerholt y Botma (1988) . . . . .	13
3.2.2.3. Kaub (1990) . . . . .	13
3.2.2.4. Morrall y Werner (1990) . . . . .	14
3.2.2.5. Romana (1999) . . . . .	14
3.2.2.6. Hegeman (2008) . . . . .	14
3.2.2.7. Mwesige et al. (2014a) . . . . .	15
3.2.2.8. Otros . . . . .	16
3.3. Metodologías para la evaluación funcional de carreteras convencionales . . . . .	16
3.3.1. Manual de Capacidad de Estados Unidos . . . . .	16
3.3.2. Manual de Capacidad de Alemania . . . . .	19
3.3.3. Adaptación del Manual de Capacidad en Finlandia . . . . .	20
3.3.4. Adaptación del Manual de Capacidad en Sudáfrica . . . . .	21
3.3.5. Adaptación del Manual de Capacidad en Brasil . . . . .	22
3.3.6. Adaptación del Manual de Capacidad en Argentina . . . . .	23
3.3.7. Otros métodos . . . . .	24
3.3.7.1. Basados en una velocidad umbral . . . . .	24
3.3.7.2. Basados en la teoría de colas . . . . .	25

3.3.7.3.	Basados en el ratio de adelantamientos . . . . .	27
3.3.7.4.	Basados en la densidad . . . . .	28
3.3.7.5.	Basados en el porcentaje de vehículos impedidos . . . . .	29
3.3.7.6.	Basados en el porcentaje de demora . . . . .	30
3.3.7.7.	Medidas alternativas . . . . .	31
3.4.	Modelos de microsimulación de tráfico aplicables en carreteras convencionales . . . .	31
3.4.1.	TWOPAS (TWO-lane PASSing) . . . . .	32
3.4.2.	TRARR (TRAffic on Rural Roads) . . . . .	33
3.4.3.	CORSIM (CORridor-microscopic SIMulation program) . . . . .	33
3.4.4.	Aimsun . . . . .	34
3.4.5.	Otros . . . . .	34
3.5.	Estudios de evaluación de la funcionalidad de tráfico . . . . .	35
3.5.1.	NCHRP 03-55 y NCHRP 20-07 . . . . .	35
3.5.2.	Estudios en Montana . . . . .	36
3.5.3.	Estudios en Oregón . . . . .	37
3.5.4.	Estudios en Egipto . . . . .	38
3.5.5.	Estudios en España . . . . .	38
3.5.6.	Otros . . . . .	39
<b>4.</b>	<b>Objetivos</b>	<b>41</b>
<b>5.</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>43</b>
<b>6.</b>	<b>Alcance</b>	<b>45</b>
<b>7.</b>	<b>Metodología</b>	<b>47</b>
<b>8.</b>	<b>Estudio experimental</b>	<b>49</b>
8.1.	Diseño experimental . . . . .	49
8.1.1.	Descripción del equipamiento empleado . . . . .	49
8.1.2.	Selección de localizaciones . . . . .	53
8.2.	Ejecución experimental . . . . .	55
8.3.	Reducción de datos . . . . .	58
<b>9.</b>	<b>Funcionalidad de zonas de adelantamiento</b>	<b>63</b>
9.1.	Análisis preliminar . . . . .	63
9.2.	Análisis funcional antes de las zonas de adelantamiento . . . . .	65
9.2.1.	Modelización de la funcionalidad en carreteras convencionales . . . . .	65
9.2.2.	Comparación entre medidas de desempeño . . . . .	71
9.3.	Análisis de la efectividad de las zonas de adelantamiento . . . . .	72
9.3.1.	Medidas de desempeño . . . . .	72
9.3.2.	Adelantamientos . . . . .	73
9.3.3.	Ratio de adelantamientos . . . . .	75
<b>10.</b>	<b>Microsimulación de tráfico</b>	<b>77</b>
10.1.	Calibración y validación de TWOPAS . . . . .	77
10.1.1.	Escenarios de calibración . . . . .	77
10.1.2.	Optimización de la calibración mediante algoritmos genéticos . . . . .	81
10.1.3.	Validación del modelo de microsimulación . . . . .	84
10.2.	Generación de escenarios de simulación . . . . .	84
10.3.	Reducción de datos . . . . .	87
<b>11.</b>	<b>Funcionalidad en segmentos de carretera convencional</b>	<b>91</b>
11.1.	Análisis preliminar . . . . .	91
11.2.	Caracterización individual de las configuraciones de zonas de adelantamiento . . . .	93
11.2.1.	Velocidad media . . . . .	94
11.2.2.	Porcentaje de tiempo en cola . . . . .	97
11.2.3.	Adelantamientos . . . . .	101

11.3. Estimación del número de adelantamientos . . . . .	104
11.3.1. Configuraciones simétricas . . . . .	104
11.3.2. Configuraciones asimétricas . . . . .	106
11.4. Modelo global para la evaluación de las medidas de desempeño . . . . .	110
11.4.1. Configuración base . . . . .	110
11.4.2. Ajuste según el porcentaje de zona de adelantamiento no permitido . . . . .	112
11.4.2.1. Velocidad media . . . . .	114
11.4.2.2. Porcentaje de tiempo en cola . . . . .	115
11.4.3. Ajuste según la longitud media de las zonas de adelantamiento . . . . .	117
11.4.3.1. Velocidad media . . . . .	118
11.4.3.2. Porcentaje de tiempo en cola . . . . .	120
11.4.4. Ajuste según la asimetría en la distribución de las zonas de adelantamiento . . . . .	122
11.4.4.1. Velocidad media . . . . .	123
11.4.4.2. Porcentaje de tiempo en cola . . . . .	125
<b>12. Discusión</b> . . . . .	<b>127</b>
12.1. Funcionalidad en secciones de carretera convencional . . . . .	127
12.2. Efectividad de las zonas de adelantamiento . . . . .	131
12.3. Segmentos de carretera convencional . . . . .	133
12.3.1. Velocidad media . . . . .	133
12.3.2. Porcentaje de tiempo en cola . . . . .	136
12.3.3. Número de adelantamientos . . . . .	138
<b>13. Conclusiones</b> . . . . .	<b>141</b>
<b>14. Aplicaciones</b> . . . . .	<b>145</b>
14.1. Criterios de diseño de zonas de adelantamiento . . . . .	145
14.2. Metodología de evaluación de la funcionalidad de carreteras convencionales . . . . .	147
14.3. Modelización del número de adelantamientos para la estimación de la seguridad vial . . . . .	153
14.4. Modelo de microsimulación calibrado a las condiciones españolas . . . . .	154
<b>15. Futuras líneas de investigación</b> . . . . .	<b>155</b>
<b>Agradecimientos</b> . . . . .	<b>156</b>
<b>Referencias bibliográficas</b> . . . . .	<b>159</b>
<b>A. Publicaciones relacionadas con la Tesis Doctoral</b> . . . . .	<b>165</b>
<b>B. Summary of the Thesis</b> . . . . .	<b>169</b>
B.1. Introduction . . . . .	169
B.1.1. Research Motivation . . . . .	170
B.1.2. Chapter Organization . . . . .	171
B.2. Objectives . . . . .	171
B.3. Hypotheses . . . . .	172
B.4. Conclusions . . . . .	173
B.5. List of publications . . . . .	175
<b>C. Análisis estadístico observaciones</b> . . . . .	<b>269</b>
C.1. Análisis preliminar . . . . .	269
C.2. Modelos previos . . . . .	274
C.3. Modelos finales . . . . .	277
<b>D. Análisis estadístico microsimulación</b> . . . . .	<b>281</b>
D.1. Análisis preliminar . . . . .	281
D.2. Modelos previos configuraciones individuales . . . . .	285
D.2.1. Velocidad media . . . . .	285
D.2.2. Porcentaje de tiempo en cola . . . . .	303

D.2.3. Adelantamientos . . . . .	316
D.3. Modelos finales configuraciones individuales . . . . .	333
D.3.1. Velocidad media . . . . .	333
D.3.2. Porcentaje de tiempo en cola . . . . .	336
D.3.3. Adelantamientos . . . . .	339
D.4. Modelos previos global . . . . .	342
D.4.1. Velocidad media . . . . .	342
D.4.2. Porcentaje de tiempo en cola . . . . .	347
D.4.3. Adelantamientos . . . . .	347
D.5. Modelos finales . . . . .	350



# Índice de figuras

3.1.	Coeficiente $\gamma$ según Troutbeck (1982) . . . . .	12
3.2.	Ajuste de velocidad media en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido, con velocidad en flujo libre de 100 km/h . . . . .	18
3.3.	Ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido . . . . .	19
3.4.	Evaluación del nivel de servicio (Romana y Pérez, 2006) . . . . .	25
3.5.	Ratio de adelantamientos (Morrall y Werner, 1990) . . . . .	28
8.1.	Laboratorio móvil de tráfico . . . . .	50
8.2.	Cámaras del laboratorio móvil de tráfico . . . . .	51
8.3.	Software de visualización del laboratorio móvil de tráfico . . . . .	51
8.4.	Esquema de la metodología de toma de datos . . . . .	52
8.5.	Láser de medición de velocidad . . . . .	53
8.6.	Posibles zonas de adelantamiento donde realizar la ejecución experimental . . . . .	55
8.7.	Prueba de campo en la CV-50 con el laboratorio móvil de tráfico . . . . .	56
8.8.	Prueba de campo en la N-225 con cámaras de alta de definición . . . . .	57
8.9.	Ejemplo de visualización de videos del laboratorio móvil de tráfico . . . . .	59
8.10.	Ejemplo de identificación de vehículo en inicio y final de la zona de adelantamiento en la CV-405 . . . . .	59
8.11.	Ejemplo de identificación de vehículo en inicio y final de la zona de adelantamiento en la N-225 . . . . .	60
9.1.	Ajuste de los modelos en las variables de velocidad . . . . .	68
9.2.	Ajuste de los modelos en las variables de seguimiento (I) . . . . .	69
9.3.	Ajuste de los modelos en las variables de seguimiento (II) . . . . .	70
9.4.	Diferencia en el porcentaje de vehículos en cola antes y después de la zona de adelantamiento . . . . .	72
9.5.	Diferencia en la densidad de vehículos en cola antes y después de la zona de adelantamiento . . . . .	73
9.6.	Estimación del número de adelantamientos en las zonas observadas . . . . .	75
9.7.	Estimación del ratio de adelantamientos en las zonas observadas . . . . .	76
10.1.	Estado de alineaciones introducido en TWOPAS . . . . .	78
10.2.	Estado de rasantes introducido en TWOPAS . . . . .	78
10.3.	Características generales de comportamiento del conductor en TWOPAS . . . . .	79
10.4.	Características técnicas de los vehículos ligeros . . . . .	79
10.5.	Características técnicas de los vehículos pesados . . . . .	80
10.6.	Estructura de un algoritmo genético . . . . .	81
10.7.	Diagrama de flujo del programa empleado para calibrar automáticamente TWOPAS . . . . .	82
10.8.	Configuraciones simétricas de zonas de adelantamiento . . . . .	84
10.9.	Configuraciones asimétricas de zonas de adelantamiento . . . . .	85
10.10.	Ejemplo de archivo .INP . . . . .	87
10.11.	Ejemplo de archivo .OUT . . . . .	88
11.1.	Histograma de las medidas de desempeño principales del conjunto de la muestra . . . . .	92
11.2.	Comparación de la velocidad media de la simulación y la estimación del modelo en la configuración 000-01 . . . . .	95

11.3.	Estimación de la velocidad media en función del volumen direccional, reparto y configuración de zonas de adelantamiento simétrica . . . . .	96
11.4.	Comparación del porcentaje de tiempo en cola de la simulación y la estimación del modelo en la configuración 000-01 . . . . .	99
11.5.	Estimación del porcentaje de tiempo en cola en función del volumen direccional, reparto y configuración de zonas de adelantamiento . . . . .	100
11.6.	Comparación del número de adelantamientos de la simulación y la estimación del modelo en la configuración 000-01 . . . . .	102
11.7.	Estimación del número de adelantamientos en función del volumen direccional, reparto y configuración de zonas de adelantamiento . . . . .	103
11.8.	Estimación del número de adelantamientos en las configuraciones simétricas . . .	106
11.9.	Estimación del número de adelantamientos en las configuraciones asimétricas con longitud 5000 m . . . . .	107
11.10.	Estimación del número de adelantamientos en las configuraciones asimétricas con longitud 2500 m . . . . .	108
11.11.	Velocidad media en la configuración base . . . . .	111
11.12.	Porcentaje de tiempo en cola en la configuración base . . . . .	112
11.13.	Ajuste de la velocidad media en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido . . . . .	114
11.14.	Ajuste de porcentaje de tiempo en cola en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido . . . . .	117
11.15.	Diferencia entre la velocidad media real y la estimada según la base y el ajuste %NPZ	118
11.16.	Diferencia entre el porcentaje de tiempo en cola real y el estimado según la base y el ajuste %NPZ (I) . . . . .	120
11.17.	Diferencia entre el porcentaje de tiempo en cola real y el estimado según la base y el ajuste %NPZ (II) . . . . .	121
11.18.	Diferencia en la velocidad media de la configuración 050-01 y las configuraciones asimétricas con longitud 5000 m . . . . .	123
11.19.	Diferencia en la velocidad media de la configuración 050-02 y las configuraciones asimétricas con longitud 2500 m . . . . .	124
11.20.	Diferencia en la velocidad media de la configuración 050-01 y las configuraciones asimétricas con longitud 5000 m . . . . .	125
11.21.	Diferencia en el porcentaje de tiempo en cola de la configuración 050-02 y las configuraciones asimétricas con longitud 2500 m . . . . .	126
12.1.	Comparación de la estimación de velocidad media y porcentaje de tiempo en cola	129
12.2.	Comparación de la estimación de las medidas de seguimiento . . . . .	130
12.3.	Comparación de la estimación de adelantamientos . . . . .	132
12.4.	Comparación de la estimación de ratio de adelantamientos . . . . .	132
12.5.	Comparación de la estimación de la velocidad media en las distintas normativas .	134
12.6.	Comparación de la estimación de la velocidad media con estudios de campo . . .	135
12.7.	Comparación de la estimación del porcentaje de tiempo en cola en las distintas normativas en la configuración 000-01 . . . . .	137
12.8.	Comparación de la estimación del porcentaje de tiempo en cola en los estudios de campo en la configuración 000-01 . . . . .	138
12.9.	Comparación de la estimación del número de adelantamientos en los estudios previos en la configuración 000-01 . . . . .	139
14.1.	Metodología de evaluación de la funcionalidad de carreteras convencionales . . .	148
C.1.	Histograma de las medidas de desempeño en las zonas de adelantamiento observadas	269
C.2.	Histograma de las medidas de desempeño antes y después de las zonas de adelantamiento . . . . .	270
C.3.	Histograma de las medidas de desempeño en función del volumen direccional . .	271
C.4.	Histograma de las medidas de desempeño en función del porcentaje de pesados .	272
C.5.	Histograma de las medidas de desempeño en función del porcentaje de zonas de adelantamiento no permitido . . . . .	273

D.1.	Histograma de las medidas de desempeño principales del conjunto de la muestra .	281
D.2.	Histograma de las medidas de desempeño . . . . .	282
D.3.	Histograma de las medidas de desempeño . . . . .	283
D.4.	Histograma de las medidas de desempeño . . . . .	284



# Índice de tablas

3.1.	Distancias de visibilidad de adelantamiento en la <i>Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado</i> . . . . .	7
3.2.	Distancias de visibilidad para zonas de adelantamiento en la <i>Instrucción de Carreteras 8.2 IC: Señalización horizontal</i> . . . . .	8
3.3.	Comparación de distancias de visibilidad de adelantamiento en criterios de diseño	9
3.4.	Comparación de distancias de visibilidad de adelantamiento en criterios de señalización . . . . .	9
3.5.	Longitud mínima de zona de adelantamiento en Estados Unidos . . . . .	9
3.6.	Criterios para la determinación del nivel de servicio del <i>Highway Capacity Manual</i>	17
3.7.	Criterios para la determinación del nivel de servicio en Sudáfrica . . . . .	22
3.8.	Valores de los coeficientes para el cálculo de PTSF (Bessa y Setti, 2011) . . . . .	23
3.9.	Valores de los coeficientes para el cálculo de PTSF (Maldonado et al., 2012) . . . . .	24
3.10.	Niveles de servicio en función de la densidad en condiciones ideales (Botha et al., 1994) . . . . .	28
3.11.	Niveles de servicio en función del porcentaje de demora en condiciones ideales (Li y Washburn, 2014) . . . . .	30
8.1.	Pruebas de toma de datos realizadas . . . . .	56
8.2.	Características de las zonas observadas . . . . .	57
8.3.	Pruebas de medición de velocidad . . . . .	58
8.4.	Resumen del test Mann-Whitney-Wilcoxon de comparación entre la velocidad de las cámaras y el láser . . . . .	62
9.1.	Resumen de estadísticos básicos de la muestra observada . . . . .	64
9.2.	Resumen de modelos de regresión antes de la zona de adelantamiento . . . . .	67
9.3.	Modelos funcionales para la estimación del número de adelantamientos - zonas aisladas . . . . .	73
9.4.	Aumento en el número de adelantamientos en función de la longitud de la zona de adelantamiento . . . . .	75
10.1.	Escenarios simulados en TWOPAS . . . . .	86
11.1.	Resumen de estadísticos básicos del conjunto de la muestra . . . . .	91
11.2.	Velocidad media - Modelos funcionales para la configuración individual . . . . .	94
11.3.	Resumen de modelos de velocidad media en función de la configuración . . . . .	95
11.4.	Porcentaje de tiempo en cola - Modelos funcionales para la configuración individual	97
11.5.	Resultado del ajuste de los modelos funcionales de los parámetros del porcentaje de tiempo en cola . . . . .	97
11.6.	Comparación del ajuste de modelos funcionales del porcentaje de tiempo en cola	98
11.7.	Parámetro a para el cálculo del porcentaje de tiempo en cola . . . . .	98
11.8.	Parámetro b para el cálculo del porcentaje de tiempo en cola . . . . .	99
11.9.	Adelantamientos - Modelos funcionales para la configuración individual . . . . .	101
11.10.	Resumen de modelos de número de adelantamientos en función de la configuración	101
11.11.	Número de adelantamientos en función del reparto en la configuración 000-01 . . . . .	103
11.12.	Adelantamientos - Modelos funcionales para el modelo global . . . . .	104
11.13.	Reducción del número de adelantamientos en función de la longitud media de zonas de adelantamiento . . . . .	106

11.14.	Número medio de adelantamientos en las configuraciones con longitud media 2500 m . . . . .	109
11.15.	Diferencias medias con la configuración base en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido y tráfico . . . . .	113
11.16.	Modelos funcionales para ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función de %NPZ	116
11.17.	Ajuste de la velocidad media en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento . . . . .	119
11.18.	Ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento . . . . .	122
12.1.	Error medio estimado en los modelos de velocidad media . . . . .	128
12.2.	Error medio estimado en los modelos de porcentaje de vehículos en cola . . . . .	128
12.3.	Error medio estimado en los modelos de densidad de vehículos en cola . . . . .	131
12.4.	Error medio estimado en los modelos de variables derivadas de teoría de colas . . . . .	131
12.5.	Error medio estimado en los modelos de adelantamiento . . . . .	131
12.6.	Error medio estimado en los modelos de ratio de adelantamientos . . . . .	133
12.7.	Error medio en la estimación de velocidad media (km/h) en las configuraciones de zonas de adelantamiento . . . . .	134
12.8.	Error medio en la estimación del porcentaje de tiempo en cola (%) en las configuraciones de zonas de adelantamiento . . . . .	136
12.9.	Estimación del número de adelantamientos (ad/h) en la configuración 000-01 . . . . .	140
14.1.	Distancias de visibilidad de adelantamiento en la <i>Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado</i> . . . . .	146
14.2.	Distancias de visibilidad para zonas de adelantamiento en la <i>Instrucción de Carreteras 8.2 IC: Señalización horizontal</i> y en la nueva <i>Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado</i> . . . . .	146
14.3.	Ajuste de la velocidad media en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento ( $F_{atsl_{mza}}$ ) . . . . .	150
14.4.	Ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento ( $F_{ptsf_{l_{mza}}}$ ) . . . . .	151
14.5.	Criterios para la determinación del nivel de servicio del <i>Highway Capacity Manual</i> . . . . .	152
C.1.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media . . . . .	274
C.2.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media vehículos ligeros . . . . .	274
C.3.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de velocidad libre . . . . .	275
C.4.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje velocidad libre vehículos ligeros . . . . .	275
C.5.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de vehículos en cola . . . . .	275
C.6.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de densidad de vehículos en cola . . . . .	276
C.7.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de vehículos impedidos . . . . .	276
C.8.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de longitud media de cola (inverso) . . . . .	277
C.9.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de intensidad de circulación . . . . .	277
C.10.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de libertad de circulación (inverso) . . . . .	277
C.11.	Modelo final ATS - vlim 100 . . . . .	278
C.12.	Modelo final ATS - 80 . . . . .	278
C.13.	Modelo final ATSpC - 100 . . . . .	278
C.14.	Modelo final ATS - 80 . . . . .	278
C.15.	Modelo final PFFS . . . . .	278

C.16.	Modelo final PFFSpC . . . . .	279
C.17.	Modelo final PF1 . . . . .	279
C.18.	Modelo final FD1 . . . . .	279
C.19.	Modelo final PI1 . . . . .	279
C.20.	Modelo final inv(APL1) . . . . .	279
C.21.	Modelo final TI1 . . . . .	279
C.22.	Modelo final inv(FF1) . . . . .	280
C.23.	Modelo final adelantamientos . . . . .	280
C.24.	Modelo final ratio adelantamientos (raíz) . . . . .	280
D.1.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 000_01 . . . . .	285
D.2.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_01 . . . . .	286
D.3.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_012 . . . . .	287
D.4.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_013 . . . . .	288
D.5.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_02 . . . . .	289
D.6.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_022 . . . . .	290
D.7.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_023 . . . . .	291
D.8.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_024 . . . . .	292
D.9.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_025 . . . . .	293
D.10.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_026 . . . . .	294
D.11.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_03 . . . . .	295
D.12.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_04 . . . . .	296
D.13.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_042 . . . . .	297
D.14.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_05 . . . . .	298
D.15.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_07 . . . . .	299
D.16.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_10 . . . . .	300
D.17.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_102 . . . . .	301
D.18.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050_20 . . . . .	302
D.19.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 100_00 . . . . .	303
D.20.	Modelo lineal de ajuste del parámetro a del HCM 2010 . . . . .	304
D.21.	Modelo lineal de ajuste del parámetro b del HCM 2010 . . . . .	304
D.22.	Modelo lineal de ajuste del parámetro a de Maldonado et al. . . . .	305
D.23.	Modelo lineal de ajuste del parámetro b de Maldonado et al. . . . .	305
D.24.	Modelo lineal de ajuste del parámetro c de Maldonado et al. . . . .	306
D.25.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 000_01 . . . . .	307
D.26.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_01 . . . . .	307

D.27.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_012 . . . . .	308
D.28.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_013 . . . . .	308
D.29.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_02 . . . . .	308
D.30.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_022 . . . . .	309
D.31.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_023 . . . . .	309
D.32.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_024 . . . . .	310
D.33.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_025 . . . . .	310
D.34.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_026 . . . . .	310
D.35.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_03 . . . . .	311
D.36.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_04 . . . . .	311
D.37.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_042 . . . . .	312
D.38.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_05 . . . . .	312
D.39.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_07 . . . . .	312
D.40.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_10 . . . . .	313
D.41.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_102 . . . . .	313
D.42.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050_20 . . . . .	314
D.43.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 100_00 . . . . .	314
D.44.	Resumen modelos estadísticos porcentaje de tiempo en cola. Modelos no lineales	315
D.45.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 000_01 . . . . .	316
D.46.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 000_01 (II) . . . . .	316
D.47.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_01 . . . . .	317
D.48.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_01 (II) . . . . .	317
D.49.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_012 . . . . .	318
D.50.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_012 (II) . . . . .	318
D.51.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_013 . . . . .	319
D.52.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_013 (II) . . . . .	319
D.53.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_02 . . . . .	320
D.54.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_02 (II) . . . . .	320
D.55.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_022 . . . . .	321



D.56.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_022 (II) . . . . .	321
D.57.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_023 . . . . .	322
D.58.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_023 (II) . . . . .	322
D.59.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_024 . . . . .	323
D.60.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_024 (II) . . . . .	323
D.61.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_025 . . . . .	324
D.62.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_025 (II) . . . . .	324
D.63.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_026 . . . . .	325
D.64.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_026 (II) . . . . .	325
D.65.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_03 . . . . .	326
D.66.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_03 (II) . . . . .	326
D.67.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_04 . . . . .	326
D.68.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_04 (II) . . . . .	327
D.69.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_042 . . . . .	327
D.70.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_042 (II) . . . . .	328
D.71.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_05 . . . . .	328
D.72.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_05 (II) . . . . .	329
D.73.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_07 . . . . .	329
D.74.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_07 (II) . . . . .	329
D.75.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_10 . . . . .	330
D.76.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_10 (II) . . . . .	330
D.77.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_102 . . . . .	331
D.78.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_102 (II) . . . . .	331
D.79.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050_20 . . . . .	332
D.80.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050_20 (II) . . . . .	332
D.81.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 100_00 . . . . .	333
D.82.	Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 100_00 (II) . . . . .	333
D.83.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 000_01 . . . . .	333
D.84.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_01 . . . . .	334
D.85.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_012 . . . . .	334

D.86.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_013 . . . . .	334
D.87.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_02 . . . . .	334
D.88.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_022 . . . . .	334
D.89.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_023 . . . . .	334
D.90.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_024 . . . . .	334
D.91.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_025 . . . . .	335
D.92.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_026 . . . . .	335
D.93.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_03 . . . . .	335
D.94.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_04 . . . . .	335
D.95.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_042 . . . . .	335
D.96.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_05 . . . . .	335
D.97.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_07 . . . . .	336
D.98.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_10 . . . . .	336
D.99.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_102 . . . . .	336
D.100.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050_20 . . . . .	336
D.101.	Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 100_00 . . . . .	336
D.102.	Modelo de ptsf en la configuración 000_01 . . . . .	336
D.103.	Modelo de ptsf en la configuración 050_01 . . . . .	336
D.104.	Modelo de ptsf en la configuración 050_012 . . . . .	337
D.105.	Modelo de ptsf en la configuración 050_013 . . . . .	337
D.106.	Modelo de ptsf en la configuración 050_02 . . . . .	337
D.107.	Modelo de ptsf en la configuración 050_022 . . . . .	337
D.108.	Modelo de ptsf en la configuración 050_023 . . . . .	337
D.109.	Modelo de ptsf en la configuración 050_024 . . . . .	337
D.110.	Modelo de ptsf en la configuración 050_025 . . . . .	338
D.111.	Modelo de ptsf en la configuración 050_026 . . . . .	338
D.112.	Modelo de ptsf en la configuración 050_03 . . . . .	338
D.113.	Modelo de ptsf en la configuración 050_04 . . . . .	338
D.114.	Modelo de ptsf en la configuración 050_042 . . . . .	338
D.115.	Modelo de ptsf en la configuración 050_05 . . . . .	338
D.116.	Modelo de ptsf en la configuración 050_07 . . . . .	338
D.117.	Modelo de ptsf en la configuración 050_10 . . . . .	339
D.118.	Modelo de ptsf en la configuración 050_102 . . . . .	339
D.119.	Modelo de ptsf en la configuración 050_20 . . . . .	339
D.120.	Modelo de ptsf en la configuración 100_00 . . . . .	339
D.121.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 000_01 . . . . .	339
D.122.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_01 . . . . .	339
D.123.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_012 . . . . .	340
D.124.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_013 . . . . .	340
D.125.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_02 . . . . .	340
D.126.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_022 . . . . .	340
D.127.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_023 . . . . .	340
D.128.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_024 . . . . .	340
D.129.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_025 . . . . .	341
D.130.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_026 . . . . .	341
D.131.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_03 . . . . .	341
D.132.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_04 . . . . .	341
D.133.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_042 . . . . .	341
D.134.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_05 . . . . .	341
D.135.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_07 . . . . .	342
D.136.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_10 . . . . .	342
D.137.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_102 . . . . .	342
D.138.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050_20 . . . . .	342
D.139.	Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 100_00 . . . . .	342
D.140.	Indicadores del ajuste. Ajuste de la velocidad media en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido . . . . .	346
D.141.	Modelo para ajuste de velocidad media - NPZ . . . . .	347

---

D.142.	Modelo 1 para ajuste de porcentaje de tiempo en cola - NPZ . . . . .	347
D.143.	Modelo 2 para ajuste de porcentaje de tiempo en cola - NPZ . . . . .	347
D.144.	Modelo 3 para ajuste de porcentaje de tiempo en cola - NPZ . . . . .	347
D.145.	Modelo 1 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	347
D.146.	Modelo 2 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	347
D.147.	Modelo 3 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	348
D.148.	Modelo 4 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	348
D.149.	Modelo 5 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	348
D.150.	Modelo 6 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	348
D.151.	Modelo 7 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	348
D.152.	Modelo 8 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	348
D.153.	Modelo 9 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	349
D.154.	Modelo 10 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	349
D.155.	Modelo 11 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	349
D.156.	Modelo 12 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	349
D.157.	Modelo 13 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	349
D.158.	Modelo 14 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	349
D.159.	Modelo 15 para estimación de número de adelantamientos . . . . .	350
D.160.	Modelo para ajuste de velocidad media - NPZ . . . . .	350
D.161.	Modelo para ajuste de porcentaje de tiempo en cola - NPZ . . . . .	350



# Capítulo 1

## Antecedentes

El presente trabajo de investigación se presenta como Tesis Doctoral de la alumna Ana Tsui Moreno Chou y está dirigida por el Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Prof. Alfredo García García, Catedrático de Universidad del Departamento de Transportes de la Universitat Politècnica de Valencia.

Este trabajo ha sido realizado en colaboración directa con el Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras (GIIC), perteneciente al Instituto del Transporte y Territorio, en el cual la doctorando ha sido becaria desde abril de 2007.

En febrero de 2012, la doctorando obtuvo una beca de Formación de Personal Investigador del Ministerio de Economía y Competitividad, con referencia BES-2011-044612, asociada al proyecto de investigación 'Desarrollo de modelos de distancias de visibilidad de adelantamiento (PASSING)', con referencia TRA2010-21736. El proyecto, con duración de tres años, comenzó en enero de 2011 y finalizó en diciembre de 2013. El objetivo principal del proyecto era el desarrollo de criterios técnicos para la definición de la distancia de visibilidad de adelantamiento y la adecuada inclusión de zonas de adelantamiento en el diseño geométrico de un tramo de carretera.

El proyecto PASSING ha sido el marco de dos Tesis Doctorales, cada una centrada en una de las vertientes de la maniobra de adelantamiento: funcionalidad; y diseño geométrico y seguridad vial. La segunda de las Tesis Doctorales está realizada por Carlos Llorca García, dirigida por el Prof. Alfredo García García y titulada 'Análisis del adelantamiento en carreteras convencionales y propuesta de modelos para la mejora del diseño y señalización de las mismas'.

El diseño experimental se realizó de forma conjunta para ambas Tesis Doctorales. La toma de datos necesaria para la obtención de los datos empleados para la evaluación de la funcionalidad del tráfico, así como una parte de la reducción de datos y microsimulación de tráfico, se realizó dentro del proyecto PASSING, en las actividades 2. Diseño experimental, 3. Ejecución experimental, 4. Reducción de datos, 6. Análisis mediante microsimulación y 9. Análisis de la operación del tráfico.

No obstante, quedaban excluidos de los objetivos del proyecto PASSING el análisis específico de la funcionalidad del tráfico con medidas de desempeño alternativas, la calibración por algoritmos genéticos del modelo de microsimulación o la propuesta de una metodología para la evaluación del nivel de servicio de las carreteras convencionales españolas.

Por otro lado, para satisfacer los requisitos necesarios para optar a la mención de Doctor Internacional, se ha incluido la traducción de cuatro capítulos de la Tesis Doctoral a inglés. Dichos capítulos se recogen en el Anexo B. Además, la doctorando realizó dos estancias de más de tres meses en universidades no españolas.

La primera estancia se realizó en la University of British Columbia entre diciembre de 2012 y junio de 2013, bajo la tutela del Dr. Tarek Sayed. En ella se llevó a cabo la reducción de datos y el análisis de la funcionalidad de zonas de adelantamiento. La estancia fue financiada por el programa

TEE (Transatlantic Partnership for Excellence in Engineering) en el marco de los proyectos Erasmus Mundus-Action 2 subvencionados por la Comisión Europea.

La segunda estancia se realizó en la University of Florida entre agosto y diciembre de 2013, bajo la tutela de Dr. Scott S. Washburn. En ella se finalizó el análisis de la funcionalidad de zonas de adelantamiento y se comenzó la calibración de TWOPAS y CORSIM. Debido a inestabilidades en los resultados preliminares de CORSIM, no se profundizó en la calibración del programa a la espera de la resolución de las mismas. Para la calibración de TWOPAS se contó con la colaboración de José Elievam Bessa Jr., investigador de la Universidad de São Paulo, São Carlos School of Engineering, que cedió y adaptó su módulo de calibración de algoritmos genéticos a los datos específicos de la investigación. La estancia fue financiada por el programa para la realización de estancias breves en otros centros de I+D 2012 del subprograma de Formación de Personal Investigador (FPI) del Ministerio de Economía y Competitividad.

## Capítulo 2

# Introducción

El nivel de interacción entre vehículos que viajan en un sentido de circulación y el opuesto que existe en las carreteras convencionales da lugar a características operacionales únicas. En estas vías, los vehículos más rápidos que desean circular con una velocidad superior a la del tráfico deben rebasar a los vehículos más lentos empleando el carril destinado al tráfico en sentido contrario, y pueden sufrir demoras debido a no poder realizar la maniobra de adelantamiento. En consecuencia, la posibilidad de realizar maniobras de adelantamiento suele ser percibida por los conductores como una mejora en el nivel de servicio que ofrece la vía, ya que reduce su demora.

El diseño geométrico de carreteras convencionales debe proporcionar zonas en las que realizar las maniobras de adelantamiento. Para ello, es necesario diseñar zonas con suficiente visibilidad para completarla de forma segura. No obstante, la adaptación al terreno de las carreteras convencionales suele resultar en un diseño más sinuoso, no compuesto únicamente de rectas. En consecuencia, se limita la visibilidad disponible y se restringen las zonas en las que es posible y seguro el adelantamiento.

El diseño geométrico de las carreteras convencionales españolas se basa en la norma 3.1. I.C. (Ministerio de Fomento, 1999). La Instrucción de Trazado contempla las especificaciones de los elementos básicos para que proporcionen unas características adecuadas de funcionalidad, seguridad y comodidad de la circulación compatibles con consideraciones económicas y ambientales. En el caso de las zonas de adelantamiento, se especifica que se procurará obtener la máxima longitud posible donde la visibilidad de adelantamiento sea superior a la distancia de adelantamiento; y que su proporción deseable será del 40 % por cada sentido de circulación y repartidas lo más uniformemente posible. Con ello, se busca indirectamente que el nivel de servicio resultante en la hora de proyecto del año horizonte sea el adecuado.

A falta de una normativa española específica, la *Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado* deriva el cálculo del nivel de servicio a la metodología del Manual de Capacidad americano (Transportation Research Board, 2010). En el caso de las carreteras convencionales de dos carriles, las medidas de desempeño son tres: velocidad media de recorrido, porcentaje de tiempo en cola y porcentaje de velocidad libre. El efecto de los adelantamientos se considera en la metodología mediante factores de ajuste para las medidas, que fueron obtenidos con simulaciones en TWOPAS (Harwood et al., 1999).

Los ajustes dependen del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido en lugar de la longitud de las zonas de adelantamiento y su distribución dentro del segmento, lo que ha podido causar las diferencias observadas entre las estimaciones del HCM y las obtenidas con simulaciones en TWOPAS (Courage et al., 2010) y en CORSIM (Washburn et al., 2012). Es más, no existen indicaciones sobre la precisión del ajuste o la distribución de las zonas de adelantamiento empleada (Luttinen, 2001). Por otro lado, los datos de campo para calibrar el modelo de microsimulación son de los años setenta (Harwood et al., 1999) y no está claro si el comportamiento de los conductores y las características de sus vehículos han variado en los últimos 40 años. En consecuencia, existe la necesidad de desarrollar

nuevos modelos para la evaluación de la operación del tráfico, como ya identificó el Subcomité de Carreteras Convencionales del Transportation Research Board, AHB40. 2.2 (2007).

La frecuencia de adelantamientos y ratio de adelantamientos en función del tráfico se ha estudiado de forma teórica (Wardrop, 1952; Daganzo, 1975; Troutbeck, 1982) y experimental. Los desarrollos teóricos estiman frecuencias de adelantamiento muy superiores a los estudios de campo. Además, existe una gran dispersión entre la frecuencia de adelantamientos en los anteriores estudios experimentales, que se puede deber a la diferencia en el volumen de tráfico, reparto, longitud de zonas de adelantamiento y la variación geográfica. En el único estudio realizado hasta el momento en carreteras españolas se concluyó que la frecuencia de adelantamientos era máxima para un volumen de tráfico total entre 500 y 800 veh/h (Romana, 1999), aunque no llegó a modelizar el número de adelantamientos.

Si bien los estudios de campo proporcionan datos reales del comportamiento de los conductores, el volumen de tráfico que se puede observar no suele cubrir todo el rango posible ni condiciones de reparto, ni todas las características de zonas de adelantamiento. Con el fin de extrapolar las conclusiones obtenidas con datos experimentales, se pueden emplear modelos de microsimulación de tráfico. Estos modelos requieren de la descripción del movimiento de cada vehículo individual en el flujo del tráfico, incluyendo su aceleración, deceleración, seguimiento o cambio de carril, entre otros (Barcelo, 2010). Estos modelos se deben calibrar y validar con datos de campo para minimizar las diferencias entre lo observado en campo y los resultados de la simulación (Federal Highway Administration, 2004; Egami et al., 2006; Barcelo, 2010).

No todos los microsimuladores de tráfico tienen la capacidad de simular maniobras de adelantamiento. Uno de los simuladores más antiguos es TWOPAS, que actualmente se ejecuta a través del Módulo de Análisis de Tráfico (TAM) del IHSDM (*Interactive Highway Safety Design Model*) desarrollado por la FHWA (*Federal Highway Administration*), y que se distribuye gratuitamente. TWOPAS se ha utilizado para analizar la velocidad media de recorrido y el porcentaje de tiempo en cola en las carreteras convencionales de Brasil empleando algoritmos genéticos (Bessa y Setti, 2011), para evaluar carriles para vehículos lentos en rampas pronunciadas (Valencia-Alaix y García, 2010), para determinar los factores de ajuste del HCM 2010 (Harwood et al., 1999) y demostrar que las zonas de adelantamiento cortas (menores a 240 m) no contribuyen a mejorar el nivel de servicio (Harwood et al., 2010).

Pese a que TWOPAS ha sido el modelo más empleado, existen más modelos de microsimulación que incluyen módulos de adelantamiento aunque no se han calibrado con datos de campo o utilizado para la evaluación de la calidad del tráfico, como CORSIM (Li y Washburn, 2011), TWOSIM (Kim y Elefteriadou, 2010), RutSim (Hegeman et al., 2009), OTSIM (Ghods y Saccomanno, 2014) o Aimsun (Llorca et al., 2014). TRARR (Koorey, 2002) ha sido empleado anteriormente, pero el ARRB ha dejado de actualizarlo y no se distribuye.

Por otro lado, aunque la metodología del HCM 2010 es la más extendida y se ha adoptado localmente a otros países (Luttinen, 2000; Bessa y Setti, 2011; Maldonado et al., 2012), sus medidas de desempeño son complejas de medir en campo. Es más, no se corresponden con las características ideales que deberían tener las medidas de desempeño indicadas por Luttinen et al. (2003), como ser fáciles de medir en campo, estar correlacionadas con medidas en otros tipos de vía y tener correlación con las variables de tráfico y las condiciones de la vía, entre otras. En consecuencia, varios autores han propuesto medidas de desempeño alternativas, como la velocidad media de vehículos ligeros (Bri-lon y Weiser, 2006), el porcentaje de vehículos impedidos (Al-Kaisy y Durbin, 2008), la densidad de vehículos en cola (van As y van Niekerk, 2004) o la libertad de la circulación (Polus y Cohen, 2009). En los estudios de campo, la densidad de vehículos en cola proporcionaba una mayor correlación con las variables de tráfico (Al-Kaisy y Karjala, 2008; Oregon Department of Transportation, 2010; Hashim y Abdel-Wahed, 2011), aunque no se compararon todas las medidas de desempeño y no se verificó el cumplimiento de las hipótesis en las que se basan los modelos de regresión empleados.



## 2.1 Necesidad de investigación

Todos los puntos expuestos se resumen en que es necesario evaluar la funcionalidad del tráfico considerando las zonas de adelantamiento y las características del tráfico. Para ello, se deberán actualizar los datos de comportamiento del conductor en zonas de adelantamiento y caracterizar la funcionalidad observada con distintas medidas de desempeño. Además, para aumentar la validez de las conclusiones obtenidas, se deberán emplear los datos observacionales para calibrar y validar un modelo de microsimulación, y así cubrir todo el rango de tráfico en una misma configuración de carretera y también variar de forma controlada sus zonas de adelantamiento.

De esta manera, se permitirá el desarrollo de criterios técnicos para incluir adecuadamente las zonas de adelantamiento en el diseño geométrico de carreteras convencionales españolas. Además, con los resultados se podrá proponer una metodología de evaluación de la operación del tráfico con estimadores más ajustados al comportamiento real de los conductores españoles.

## 2.2 Organización del documento

La Tesis Doctoral se ha organizado en 13 Capítulos tras los Antecedentes (**Capítulo 1**) y la Introducción (**Capítulo 2**); y en 4 Anexos.

En el **Capítulo 3** se presenta la revisión y recopilación de los conocimientos existentes en el diseño de las zonas de adelantamiento y la evaluación funcional de las carreteras convencionales; cuyas aportaciones más importantes se han resumido previamente en la Introducción.

En el **Capítulo 4** se incluye el objeto de la investigación y los objetivos específicos identificados para alcanzar el objetivo principal. Posteriormente, en el **Capítulo 5** se establecen las hipótesis principales del estudio, que se corroborarán o rechararán en el desarrollo de la Tesis Doctoral. Además, se incluyen las limitaciones previas a la investigación en el **Capítulo 6** y la metodología empleada (**Capítulo 7**).

En el **Capítulo 8** se presenta el estudio experimental llevado a cabo para recoger datos de campo en zonas de adelantamiento, y su análisis se realiza en el **Capítulo 9**, que incluye el análisis funcional en secciones de carretera convencional y el análisis de la efectividad de las zonas de adelantamiento.

Posteriormente, en el **Capítulo 10** se presentan la calibración y validación del modelo de microsimulación TWOPAS a partir de los datos de campo. Además, incluye la definición de los escenarios de tráfico a simular en TWOPAS y la reducción de datos necesaria para obtener las variables principales de análisis. El análisis de la funcionalidad en segmentos de carretera convencional se realiza en el **Capítulo 11**. Este Capítulo incluye el análisis individualizado de cada configuración de zonas de adelantamiento; el análisis global del número de adelantamientos y el desarrollo del modelo global de las medidas de desempeño: velocidad media y porcentaje de tiempo en cola.

Tras el análisis de los resultados observacionales y de simulación, se incluye la discusión de los resultados con las normativas existentes y otras investigaciones (**Capítulo 12**). En el **Capítulo 13**, se establecen las principales conclusiones del estudio en base a los resultados alcanzados y la discusión.

Finalmente, en el **Capítulo 14** se incluyen algunas aplicaciones prácticas y metodológicas de la Tesis Doctoral y en el **Capítulo 15**, las futuras líneas de investigación donde se podría profundizar la investigación.

Asimismo, se incluyen cuatro Anexos con las publicaciones propias relacionadas (**Anexo A**); el resumen en inglés y el compendio de artículos (**Anexo B**); y los análisis estadísticos realizados en las observaciones (**Anexo C**) y las simulaciones (**Anexo D**).



# Capítulo 3

## Estado del arte

En este Capítulo se presenta la revisión y recopilación de los conocimientos existentes en el diseño de las zonas de adelantamiento y la evaluación funcional de las carreteras convencionales. En la Sección 3.1 se revisarán las normativas que regulan el diseño y señalización de zonas de adelantamiento; mientras que en la Sección 3.2 se revisará el funcionamiento de las zonas de adelantamiento. En la Sección 3.3 se analizarán las metodologías para evaluar la calidad del tráfico en carreteras convencionales. En la Sección 3.4 se recogerán los modelos de microsimulación aplicables en carreteras convencionales. Finalmente, en la Sección 3.5 se incluirán los estudios de evaluación de funcionalidad de tráfico.

### 3.1 Diseño y señalización de zonas de adelantamiento

#### 3.1.1 España

Los criterios normativos que son vigentes en España se encuentran recogidos en las Instrucciones de Trazado (Ministerio de Fomento, 1999), de Señalización vertical (Ministerio de Fomento, 2014) y de Señalización horizontal (Ministerio de Fomento, 1987).

La Instrucción de Trazado (Ministerio de Fomento, 1999) contempla las especificaciones de los elementos básicos para que proporcionen unas características adecuadas de funcionalidad, seguridad y comodidad de la circulación compatibles con consideraciones económicas y ambientales. Estas son aplicables en la fase de diseño. En ella, se define la distancia de adelantamiento como la distancia necesaria para que un vehículo pueda adelantar a otro que circula a menor velocidad, en presencia de un tercero que circula en sentido opuesto. Esta distancia depende de la velocidad de proyecto de la carretera (Tabla 3.1).

Velocidad de proyecto $V_p$ (km/h)	40	50	60	70	80	90	100
Distancia de adelantamiento $D_a$ (m)	200	300	400	450	500	550	600

**Tabla 3.1:** Distancias de visibilidad de adelantamiento en la *Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado*

Igualmente, define la visibilidad de adelantamiento como la distancia que existe a lo largo del carril por el que se realiza el adelantamiento entre el vehículo que efectúa la maniobra y la posición del vehículo que circula en sentido opuesto, en el momento en que puede divisarlo, sin que luego desaparezca de su vista hasta finalizar el adelantamiento. Para su cálculo, el punto de vista del conductor y vehículo contrario se sitúan a 1.1 m sobre la calzada y la distancia se mide a lo largo del eje.

La norma 3.1-IC Trazado especifica que se procurará obtener la máxima longitud posible donde la visibilidad de adelantamiento sea superior a la distancia de adelantamiento. En esa longitud existe

visibilidad de adelantamiento y su proporción deseable será del 40 % por cada sentido de circulación y repartida lo más uniformemente posible.

Con la previsión de zonas con visibilidad de adelantamiento se busca indirectamente que el nivel de servicio en la hora de proyecto del año horizonte sea el adecuado para cada clase de vía. Para su evaluación, se refiere al uso del HCM 2010, cuya metodología se detallará en la Sección 3.3.1.

Por su parte, la *Instrucción de Carreteras 8.2 IC: Señalización horizontal* contiene los criterios para determinar las zonas de prohibición de adelantamiento mediante señalización horizontal. Las marcas longitudinales continuas tienen como función la prohibición del adelantamiento por no disponer de la visibilidad necesaria para completarlo, una vez iniciado, o para desistir de él. Esta se inicia cuando la distancia de visibilidad disponible es inferior a la distancia necesaria, en función de la velocidad máxima permitida (Tabla 3.2).

La distancia de visibilidad disponible se calcula situando el observador y el obstáculo a 1.2 m de altura sobre el pavimento y a 1 m del borde interior de su carril, difiriendo de la metodología empleada en la 3.1-IC Trazado.

Velocidad máxima permitida (km/h)	40	50	60	70	80	90	100
Distancia de visibilidad necesaria, $DVN_1$ (m)*	50	750	100	130	165	205	250
Distancia de visibilidad necesaria, $DVN_2$ (m)**	145	180	225	265	310	355	395
Distancia mínima deseable entre marcas continuas, DM (m)***	160	200	245	290	340	385	

\* No inicio de marca continua en cualquier vía o finalización de marca continua en vías existentes

\*\* Finalización de marca continua en vías de nuevo trazado

\*\*\* En vías de nuevo trazado

**Tabla 3.2:** Distancias de visibilidad para zonas de adelantamiento en la *Instrucción de Carreteras 8.2 IC: Señalización horizontal*

La marca continua finalizará en el punto en el que se vuelva a disponer de visibilidad necesaria, aplicando la distancia  $DVN_1$  de la Tabla 3.2 en vías existentes y la distancia  $DVN_2$  en vías de nuevo trazado. Cuando entre dos prohibiciones de adelantamiento quede un tramo de una longitud inferior a la distancia de visibilidad necesaria, se unirán ambas prohibiciones. En las vías de nuevo trazado, es deseable que la longitud del tramo no sea inferior a la distancia DM de la Tabla 3.2.

Además, se indica que cuando la aplicación de las reglas anteriores resulte en una elevada proporción del tramo con marca vial continua, deberá reconsiderarse la velocidad máxima permitida, a fin de disminuir dicha proporción.

Finalmente, la *Instrucción de Carreteras 8.1 IC: Señalización vertical* establece como señalización vertical las señales de prohibición de adelantamiento R305 y fin de prohibición de adelantamiento R502. Las señales análogas, únicamente aplicables a vehículos pesados, son la R306 y R503, respectivamente. Los criterios para la definición de tramos de prohibición de adelantamiento, así como de las distancias de visibilidad, atienen a lo dispuesto en la norma 8.2-IC Marcas viales.

### 3.1.2 Otros países

En las distintas normativas internacionales, la distancia de adelantamiento necesaria se ha obtenido a partir de modelos, y no en todos los casos se han considerado las mismas fases de la maniobra de adelantamiento. En la Tabla 3.3 se muestran los criterios para la distancia de adelantamiento, recogidos por Harwood et al. (1998).

Además de diferir en las fases del adelantamiento modelizadas, algunas normativas utilizan como referencia la velocidad de diseño, como en Estados Unidos, otras emplean la velocidad de operación o la velocidad de proyecto. Todo ello resulta en gran variabilidad de distancias de visibilidad de adelantamiento propuestas.

En algunos países establecen además el porcentaje de zonas con adelantamiento permitido. En el caso de España, es deseable un 40 % en cada sentido de la circulación, lo más uniformemente repartido.

País	Velocidad referencia	Velocidad (km/h)								
		40	50	60	70	80	90	100	110	120
España	Vp	200	300	400	450	500	550	600		
EEUU (2004)	Vd	270	345	410	485	540	615	670	730	775
EEUU (2011)	Vd	140	160	180	210	245	280	320	355	395
Canadá	V <sub>85</sub>	290	350	410	490	550	610	680	730	800
Reino Unido (FOSD)	V <sub>85</sub>		290	345	410			580		
Reino Unido (ASD)	V <sub>85</sub>		145	170	205			290		
Australia (ESD)	V <sub>85</sub>		330	420	520	640	770	920	1100	1300
Australia (CSD)	V <sub>85</sub>		165	205	245	300	360	430	500	600
N. Zelanda	Vd	60	80	110	150	190	280	340	420	500
Alemania	V <sub>85</sub>			475	500	525	575	625		
Grecia	V <sub>85</sub>			475	500	525	575	625		
Austria	Vd			400		525		650		
Italia	Vd	220	275	330	385	440	495	550		
Suiza	Vd			450	500	550	575	625		
Francia	Vd			500	500	500	500	500		

Vp: velocidad de proyecto; Vd: velocidad de diseño; V<sub>85</sub>: velocidad de operación

**Tabla 3.3:** Comparación de distancias de visibilidad de adelantamiento en criterios de diseño

En Alemania y Grecia, se obliga a un mínimo del 25 %, por sentido, pero no se indica su distribución. En Estados Unidos se indica que debe ser lo mayor posible, pero sin proporcionar un porcentaje. Además, en la edición del Green Book 2011 se redujeron las visibilidades para hacerlas compatibles con el MUTCD 2009, siguiendo las recomendaciones de Harwood et al. (2008) y Harwood et al. (2010).

En cuanto a los criterios de señalización recogidos por Harwood et al. (1998), también existe una gran diversidad (Tabla 3.4). Estos valores suelen ser más ajustados que los correspondientes a las normas de diseño.

País	Velocidad referencia	Velocidad (km/h)								
		40	50	60	70	80	90	100	110	120
España	Inicio prohibición VM	50	75	100	130	165	205	250		
	Fin prohibición VM	50	75	100	130	165	205	250		
	Fin prohibición VM	145	180	225	265	310	355	395		
EEUU	V <sub>85</sub>	140	160	180	210	245	280	320	355	395
Canadá	V <sub>85</sub>		160	200	240	275	330	400		
Reino Unido	V <sub>85</sub>		90	105	125			185		
Australia	V <sub>85</sub>		150	180	210	240	270	300		
Alemania	V <sub>85</sub>			130	170	220	280	340		
Grecia	V <sub>85</sub>			130	170	220	280	340		
Austria	V <sub>85</sub>			140	180	240	370			

VM: velocidad máxima permitida; V<sub>85</sub>: velocidad de operación

**Tabla 3.4:** Comparación de distancias de visibilidad de adelantamiento en criterios de señalización

Finalmente, también se determina la longitud mínima de la zona de adelantamiento para ser considerada en los análisis operacionales. En el caso de Estados Unidos, el Green Book 2011 limita la longitud mínima en función de la velocidad de operación (V<sub>85</sub>) o la velocidad límite (Tabla 3.5). En carreteras con velocidad de operación de 100 km/h, la longitud mínima de la zona de adelantamiento es 240 m.

Velocidad de operación o velocidad límite (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Longitud mínima de zona de adelantamiento (m)	140	180	210	240	240	240	240	240	240

**Tabla 3.5:** Longitud mínima de zona de adelantamiento en Estados Unidos

## 3.2 Funcionamiento de las zonas de adelantamiento

Las zonas de adelantamiento se habilitan para que los conductores puedan adelantar a vehículos más lentos en condiciones de seguridad. En este sentido, es necesario revisar el uso que realizan los conductores de las zonas de adelantamiento, es decir, caracterizar su funcionamiento.

El funcionamiento de las zonas de adelantamiento se suele medir por la frecuencia de adelantamientos y el ratio de adelantamientos. La frecuencia de adelantamientos es el número de adelantamientos por unidad de tiempo, mientras que el ratio de adelantamientos es el cociente del número de adelantamientos producido y el número de adelantamientos deseado.

En esta Sección se incluyen los modelos teóricos que estiman el número de adelantamientos en una sección homogénea de carretera convencional y los estudios experimentales de adelantamiento.

### 3.2.1 Modelos teóricos

#### 3.2.1.1 Wardrop (1952)

Uno de los primeros estudios teóricos de adelantamiento es el de Wardrop (1952).

La frecuencia de adelantamiento se deriva a partir de la distribución de velocidad en el marco teórico en el que no existen restricciones al adelantamiento, como vehículos en el sentido opuesto de circulación, o que todos los vehículos realizan la maniobra si su velocidad deseada es superior a la velocidad del vehículo lento. En este marco, asumiendo que la velocidad deseada de los vehículos se distribuye normalmente, el número de adelantamientos se calcula con la Ecuación 3.1.

$$Ad = \frac{V_d^2 \sigma_s}{\nu^2 \sqrt{\pi}} \quad (3.1)$$

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos por unidad de tiempo y longitud (ad/h/km).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $\sigma_s$ : desviación típica de velocidad deseada (km/h).
- $\nu$ : velocidad deseada media (km/h).

En el propio estudio indica que en una vía con velocidad media de 50 km/h, desviación estandar de 16.1 km/h e intensidad direccional de 400 veh/h, el número de adelantamientos deseado es de 581 adelantamientos por km y hora. Como el modelo no considera restricciones al adelantamiento, suele emplearse como el número máximo teórico de adelantamientos en carreteras convencionales (Morrall y Werner, 1990; Werner y Morrall, 1984; Dommerholt y Botma, 1988; Hegeman, 2004; Mwesige et al., 2014b) y en los carriles de adelantamiento.

#### 3.2.1.2 Daganzo (1975)

Daganzo (1975) desarrolló otro modelo teórico de adelantamientos en una vía homogénea de longitud infinita. En ella, circulan dos tipos de vehículos con distinta velocidad deseada y, eventualmente, los vehículos rápidos alcanzan a los vehículos lentos. En su modelo, calculó el número de adelantamientos en función del flujo opuesto y la distancia de visibilidad. En sus ejemplos teóricos, la frecuencia de adelantamientos se modelizaba según la Ecuación 3.2, asumiendo flujo compensado. En la formulación general, el número de adelantamientos se puede obtener de las Ecuaciones 3.3 y 3.4.

$$Ad = 637 \exp\left(-\frac{V_t}{153}\right) \quad (3.2)$$

$$E(z) = (1 - q_{ff} \frac{V - \nu}{V Ad})^{-1} \quad (3.3)$$

$$q_{ff} = V_d (1 - \frac{\nu}{\bar{v}}) \frac{V}{V - \nu} \quad (3.4)$$

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos (ad/h/km).
- $V_t$ : volumen total (veh/h).
- $E(z)$ : longitud media de la cola (veh).
- $q_{ff}$ : flujo de vehículos rápidos en flujo libre (veh/h).
- $V$ : velocidad deseada de los vehículos rápidos (km/h).
- $\nu$ : velocidad deseada de los vehículos lentos (km/h).
- $\bar{v}$ : velocidad media (km/h).
- $V_d$ : intensidad direccional (veh/h).

### 3.2.1.3 Troutbeck (1982)

Troutbeck (1982) derivó el número de adelantamientos en flujos bajos, con flujos direccionales inferiores a 150 veh/h. En dichos tráficos, el tiempo en cola es inferior al tiempo en llegar a la cola. Además, se considera que la carretera tiene una longitud infinita, que los vehículos circulan con velocidad constante y la velocidad está distribuida normalmente. El número de adelantamientos se calcula según la Ecuación 3.5.

$$Ad = \frac{Q}{V} \frac{q}{v} \sigma_s \gamma_{ab} \quad (3.5)$$

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos (ad/h/km).
- $Q$ : intensidad de vehículos rápidos (veh/h).
- $V$ : velocidad media de los vehículos rápidos (km/h).
- $q$ : intensidad de vehículos lentos (veh/h).
- $v$ : velocidad media de los vehículos lentos (km/h).
- $\sigma_s$ : desviación típica de velocidad de vehículos rápidos (km/h).
- $\gamma_{ab}$ : coeficiente, de la Figura 3.1; donde  $\alpha_{ab}$  es la diferencia en la velocidad media dividida entre la desviación típica de la velocidad de vehículos rápidos y  $\beta_{ab}$  es el cociente entre la desviación típica de velocidad de vehículos rápidos y lentos.

Igualmente, determinó el efecto del porcentaje de vehículos lentos en el número de adelantamientos.

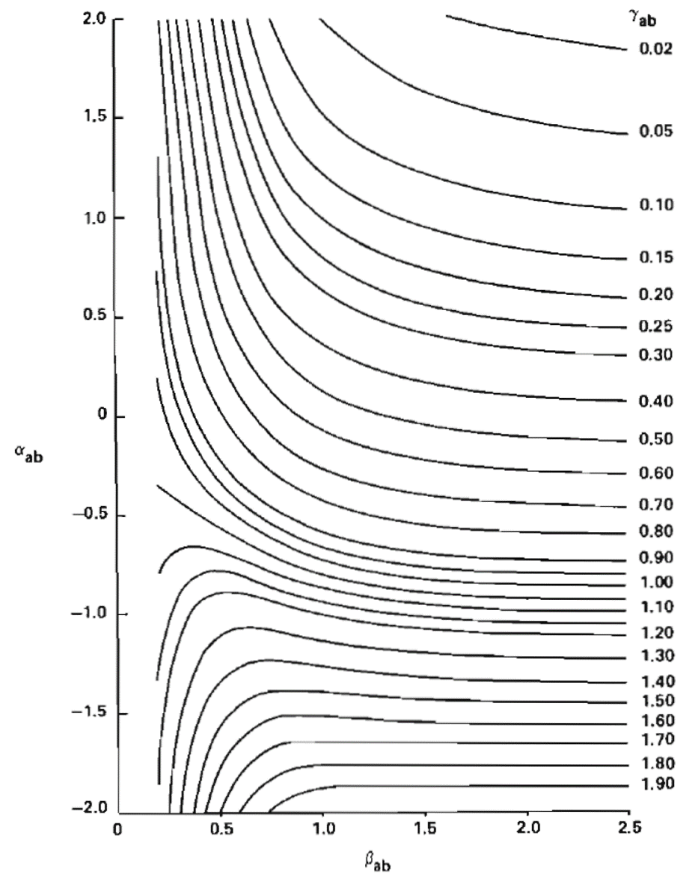


Figura 3.1: Coeficiente  $\gamma$  según Troutbeck (1982)

### 3.2.1.4 Mc Lean (1989)

Mc Lean (1989) propuso una nueva formulación para evaluar las oportunidades de adelantamiento, en función de los huecos en el sentido opuesto y el porcentaje de la longitud donde está permitido el adelantamiento. Se consideró que las maniobras de adelantamiento se realizaban si el hueco era superior a 30 segundos. La formulación es más avanzada que las anteriores, pero requiere de considerables parámetros a calibrar mediante observaciones, como la proporción de vehículos en cola dada una distancia de seguimiento o el intervalo medio.

## 3.2.2 Estudios experimentales

### 3.2.2.1 Normann (1942)

Según Mc Lean (1989), Normann (1942) definió una relación lineal entre el número de adelantamientos observados y el número de adelantamientos deseados. El ratio de adelantamientos observado se define según la Ecuación 3.6.

$$PR = 0,903 - 0,000467 V_t \quad (3.6)$$

Donde:

- $PR$ : ratio de adelantamientos (ad/h/foll).
- $V_t$ : volumen total (veh/h).



Esta relación se emplea en algunos estudios, como Hegeman (2008) para calcular el número de adelantamientos producido en una vía multiplicando el ratio de adelantamientos de Normann (1942) por el número de adelantamientos deseado de Wardrop (1952).

### 3.2.2.2 Dommerholt y Botma (1988)

Dommerholt y Botma (1988) estimaron el número de adelantamientos en carreteras convencionales en Holanda, partiendo de la Ecuación 3.1 de Wardrop (1952). Este máximo teórico lo redujeron por la oferta del sentido opuesto. Consideraron un hueco crítico de 20 segundos, en contraposición con los 30 segundos de Mc Lean (1989).

Esta derivación teórica se comprobó con datos de campo en 6 localizaciones con adelantamiento permitido en toda su longitud. El número de adelantamientos en campo era considerablemente inferior al teórico, por lo que se incluyeron dos factores adicionales de reducción. El primero de ellos considera la diferencia entre la velocidad deseada y la velocidad de circulación para que se produzca el deseo de adelantamiento, y el segundo reduce la demanda de adelantamiento a partir de 400 veh/h, de forma lineal con el aumento de la longitud media de cola.

Así, el modelo final de Dommerholt y Botma (1988) es el expresado en la Ecuación 3.7.

$$Ad = \left( \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sigma_s V_d / \bar{v}^2 \right) \exp\left(-0,25 \left( \frac{5 + V_d / \bar{v}}{\sigma_s} \right)^2\right) \quad (3.7)$$

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos por unidad de tiempo y longitud (ad/h/km).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $\sigma_s$ : error estandar de velocidad deseada (km/h).
- $\bar{v}$ : velocidad media (km/h).

El flujo se considera compensado. En otros repartos, se proponen unos factores de ajuste, que reducen el volumen direccional.

### 3.2.2.3 Kaub (1990)

El primero de los estudios experimentales en zonas de adelantamiento lo realizó Kaub (1990) al principio de los años noventa. Para el estudio se tomaron datos en 5 zonas de adelantamiento en la carretera convencional US-63 en Wisconsin, con longitudes entre 550 y 2000 m.

En la toma de datos se emplearon observadores, grabaciones de vídeo y tubos neumáticos. Las maniobras de adelantamiento se contabilizaron manualmente in situ y se caracterizó el tiempo de ocupación en el carril izquierdo, el tipo de limitación del adelantamiento (vehículo opuesto o visibilidad), el tiempo hasta la colisión o si era abortada. Por su parte, los tubos neumáticos proporcionaron los intervalos y velocidades puntuales. En total se contabilizaron 4153 maniobras de adelantamiento, en 1182 periodos de 15 minutos realizados a lo largo de 3 fines de semana. El rango de intensidad direccional observado varió entre 200 y 420 veh/h.

En sus flujos más bajos, entre 200 y 250 veh/h en la dirección más cargada, se produjeron 21 adelantamientos por hora, cifra que se redujo a 16 ad/h en su flujo más elevado (330-420 veh/h). Además, aumentó el porcentaje de maniobras abortadas, de un 0.8 % al 7.2 %. Por otro lado, el porcentaje de maniobras múltiples se situó entre el 6.8 y 19.6 % del total de maniobras. No se proporcionó un modelo de estimación del número de adelantamientos en función de las características de la zona y el tráfico.

#### **3.2.2.4 Morrall y Werner (1990)**

Morrall y Werner (1990) propusieron el ratio de adelantamientos como medida de desempeño en carreteras convencionales, como se ampliará en la Sección 3.3.7.3. El ratio de adelantamientos se definió como el cociente del número de adelantamientos producido y deseado, considerando los adelantamientos deseados los que se producen en el escenario equivalente con un tercer carril habilitado para el adelantamiento en toda la longitud.

Para la estimación del número de adelantamientos producidos tomaron datos en un tramo de 29 km la carretera Trans-Canada, en el parque nacional de Yoho. Los datos de campo se emplearon para calibrar el modelo de microsimulación TRARR. El modelo calibrado se empleó para generar nueve escenarios. En un escenario base, no se incluyeron zonas de prohibición de adelantamiento, mientras que en dos escenarios se introdujo un 51 % de zona de adelantamiento no permitido. En otros tres escenarios se modelizó con tercer carril, mientras que en los restantes se incluyeron 4 carriles. Todas las simulaciones se realizaron con tráfico compensado.

A partir de la simulación se propusieron relaciones entre el ratio de adelantamientos y el volumen total. En el escenario base, el ratio de adelantamientos varía entre 0.9 en volumen bajo, 0.5 con intensidad total de 800 veh/h y 0.18 con intensidad de 1200 veh/h. Los valores son inferiores al aumentar el porcentaje de adelantamiento no permitido, con un ratio de adelantamientos de 0.85, 0.12 y 0.05 para los mismos volúmenes de tráfico, respectivamente. La introducción de tráfico pesado reduce más, si cabe, el ratio de adelantamientos.

No se especifica cómo obtiene los adelantamientos deseados, aunque en Werner y Morrall (1984) se indica emplear el modelo teórico de Wardrop (1952).

#### **3.2.2.5 Romana (1999)**

Romana (1999) estudió el número de adelantamientos y su relación con el tráfico en carreteras españolas a partir de datos experimentales.

El estudio se realizó con datos de campo de tres carreteras en la Comunidad de Madrid (M-607, M-600, M-111) en terreno llano, con un porcentaje de vehículos pesados inferior al 10 %. La longitud de las localizaciones varió entre 1.75 y 4.70 km y el porcentaje de zonas de adelantamiento no permitido entre el 8 y 48 %. En dos escenarios, la intensidad de tráfico total observada fue intensa (800-2200) pero altamente descompensada, y en el otro era media (200-600 veh/h) con flujo equilibrado. Se emplearon cámaras de video coordinadas al principio y final del tramo durante 3 horas en cada localización.

El número medio de adelantamientos varió entre 20 y 100 ad/h/km. Además, se observó que el número de adelantamientos se maximizaba para un volumen de tráfico total entre 500 y 800 veh/h, con flujo compensado, lo cual equivale a un volumen direccional entre 250 y 400 veh/h. No se modelizó el número de adelantamientos en función del tráfico, si bien se indicó que los resultados son comparables con los proporcionados por Kaub (1990) y Morrall y Werner (1990).

#### **3.2.2.6 Hegeman (2008)**

Hegeman (2008) evaluó el número de adelantamientos en Holanda para poder estimar los efectos potenciales de un sistema de ayuda a la conducción.

Los datos experimentales se tomaron en tres tramos de dos carreteras convencionales rectas, con alguna prohibición de adelantamiento por seguridad vial. La toma de datos se realizó con grabaciones de video coordinadas en los extremos del tramo. El número de adelantamientos se contabilizó con las variaciones en las secuencias de los vehículos al inicio y final del tramo. En total se grabaron 77 horas direccionales.

En base a los resultados, el número de adelantamientos se modelizó según la intensidad direccional y el flujo opuesto, siguiendo la Ecuación 3.8. El coeficiente de correlación fue del 67 %.

$$Ad = 1,6 \times 10^{-11} V_d^{1,5} (1700 - V_o)^{2,5} \quad (3.8)$$

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos por hora y km (ad/h/km).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).

Con la aplicación del modelo, existe una intensidad direccional que maximiza el número de adelantamientos, al igual que en Romana (1999). En flujo compensado, la intensidad direccional que produce más adelantamientos está alrededor de 600-650 veh/h, en comparación con los 250-400 veh/h de Romana (1999). El modelo proporcionaba mejor ajuste con los datos de campo que los modelos previos de Daganzo (1975) y Dommerholt y Botma (1988).

Resultados preliminares, con una única carretera convencional, se presentaron en Hegeman (2004). En ellos, el número de adelantamientos observado se comparó con simulaciones en TRARR y el modelo teórico de Wardrop (1952), resultando entre 9 y 29 veces inferior a las estimaciones de Wardrop y entre 2 y 20 veces inferior a las simulaciones en TRARR.

### 3.2.2.7 Mwesige et al. (2014a)

Mwesige et al. (2014a) modelizaron el número de adelantamientos en zonas de adelantamiento de Uganda. Los datos experimentales procedían de 19 zonas de adelantamiento, que se recogieron mediante grabaciones de video y tubos neumáticos. El número de adelantamientos se obtuvo a partir de las diferencias en la secuencia de vehículos. La longitud de las zonas de adelantamiento varió entre 290 y 2990 m, con un flujo direccional entre 44 y 254 veh/h y porcentaje de vehículos pesados entre el 14 y 63 %. El límite de velocidad era 80 km/h, con una velocidad de diseño de 110 km/h.

La velocidad en flujo libre consideró un intervalo de 6 segundos. Además, en lugar de un análisis en periodos de 15 minutos, se realizaron análisis horarios.

Los modelos de regresión se realizaron en R, considerando una regresión binomial negativa. En el modelo no resultó significativo el porcentaje de vehículos pesados, la velocidad en flujo libre o su desviación. El modelo final se representa en la Ecuación 3.9. Su coeficiente de determinación es del 79 %.

$$Ad = 0,0862 \exp(0,5465 L_{pz} + 0,1357 p + 0,02293 V_d + 0,01224 V_o + 0,01385 v_{85} - 0,00008757 V_d V_o) \quad (3.9)$$

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos por hora y km (ad/h/km).
- $L_{pz}$ : longitud de la zona de adelantamiento (km).
- $p$ : pendiente media en valor absoluto (%).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $v_{85}$ : percentil 85 de la velocidad (km/h).

Con el modelo se predice el máximo número de adelantamientos con una intensidad direccional de 200 veh/h en flujo compensado, y aumenta hasta 330 veh/h en flujos más descompensados (70/30). En ningún caso se aproxima a los flujos óptimos obtenidos por Romana (1999) y Hegeman (2008). Además, la influencia de la longitud de la zona de adelantamiento es notable, aumentando el número de adelantamientos en un 73 % por cada kilómetro adicional de zona de adelantamiento.

### 3.2.2.8 Otros

Tuovinen y Enberg (2006) estudiaron el efecto de la marca vial de eje resaltada en las carreteras de Finlandia. Estimaron la velocidad media, el número de adelantamientos y la posición transversal. El número de adelantamientos se modelizó a partir de la Ecuación 3.10, con un coeficiente de determinación del 42 %.

$$Ad = 4,53 + 0,00087 V_d^2 \quad (3.10)$$

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos por hora y km (ad/h/km).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).

El número de adelantamientos no varió significativamente en función de la marca vial resaltada.

Finalmente, Abdul-mawjoud y Sofia (2014) evaluaron la frecuencia y ratio de adelantamientos en Irak. Se observaron adelantamientos en 10 segmentos de carretera convencional con una longitud superior a 3 km. Los datos se tomaron con cámaras de video y el número de adelantamientos se calculó indirectamente por la diferencia entre el orden de entrada y salida del segmento. En total, se contabilizaron 6800 maniobras. Las maniobras de adelantamiento se modelizaron con regresiones lineales y cuadráticas, con coeficientes de correlación entre el 27 y 82 % para cada zona individual. Se presentan relaciones considerando todas las zonas, si bien no se indica el coeficiente de determinación. No se proporcionan datos sobre la velocidad límite en la vía, el rango de intensidad observado, el reparto direccional o la longitud de las zonas de adelantamiento.

## 3.3 Metodologías para la evaluación funcional de carreteras convencionales

En esta Sección se incluyen las metodologías desarrolladas a nivel internacional para la evaluación funcional de carreteras convencionales con dos carriles de circulación. La sección se ha estructurado por países, recopilando en el último apartado otras metodologías alternativas.

### 3.3.1 Manual de Capacidad de Estados Unidos

A falta de una normativa propia, en España se utiliza la metodología del HCM 2010 para la estimación de los niveles de servicio (Ministerio de Fomento, 1999).

En el caso de las carreteras convencionales de dos carriles, se definen tres clases funcionales: clase I, II, y III. Las carreteras de clase I son vías interurbanas en las cuales los conductores esperan viajar a velocidades elevadas. Las carreteras de clase II son vías en las cuales los conductores no necesariamente esperan viajar con velocidades elevadas, y estas sirven de acceso a las vías de clase I, o son rutas escénicas o discurren por un terreno más accidentado que limita la velocidad. Por su parte, las carreteras de clase III discurren por zonas moderadamente urbanizadas o forman parte de las travesías urbanas. La inclusión de la nueva clase de carretera convencional se realizó siguiendo las recomendaciones de Washburn et al. (2002).

Para las carreteras convencionales, define tres medidas de desempeño:

- Velocidad media de recorrido: longitud del segmento de carretera convencional dividida entre el tiempo medio de recorrido. La medida refleja la movilidad de la vía.
- Porcentaje de tiempo en cola: porcentaje medio del tiempo que los vehículos deben viajar en cola detrás de vehículos más lentos por la imposibilidad de adelantarlos. Esta medida representa la libertad de maniobra y la comodidad del viaje.
- Porcentaje de velocidad libre: cociente entre la velocidad media y la velocidad en flujo libre. Esta medida representa la habilidad de los vehículos de circular con una velocidad similar a la límite permitida.

El nivel de servicio en carreteras de clase I depende tanto de la velocidad media de recorrido como del porcentaje de tiempo en cola, mientras que en las carreteras de clase II se considera únicamente el porcentaje de tiempo en cola y en las carreteras de clase III, el porcentaje de velocidad libre. En la Tabla 3.6 se muestran los criterios para la determinación del nivel de servicio.

Nivel de servicio	Clase I		Clase II	Clase III
	ATS (mi/h)	PTSF (%)	PTSF (%)	PFFS (%)
A	>55	≤ 35	≤ 40	>91.7
B	50-55	35-50	40-55	83.3-91.7
C	45-50	50-65	55-70	75.0-83.3
D	40-45	65-80	70-85	66.7-75.0
E	≤ 40	>80	>85	≤ 66.7

**Tabla 3.6:** Criterios para la determinación del nivel de servicio del *Highway Capacity Manual*

La estimación del nivel de servicio es direccional, es decir, se considera cada sentido de circulación por separado, siguiendo las recomendaciones de Luttinen et al. (2003).

El cálculo de las medidas de desempeño se realiza mediante las Ecuaciones 3.11 a 3.13. En aquellos segmentos de carretera con un tercer carril, que permite el adelantamiento en un sentido de circulación sin necesidad de invadir el carril destinado al tráfico opuesto, se propone una metodología complementaria que contabiliza el efecto del tercer carril sobre las medidas de desempeño.

$$ATS_d = FFS_d - 0,0125 (V_d + V_o) - 1,609 f_{np,ats} \quad (3.11)$$

$$PTSF_d = 100(1 - \exp(-a V_d^b)) + f_{np,ptsf} \frac{V_d}{V_d + V_o} \quad (3.12)$$

$$PFFS_d = \frac{ATS_d}{FFS_d} 100 \quad (3.13)$$

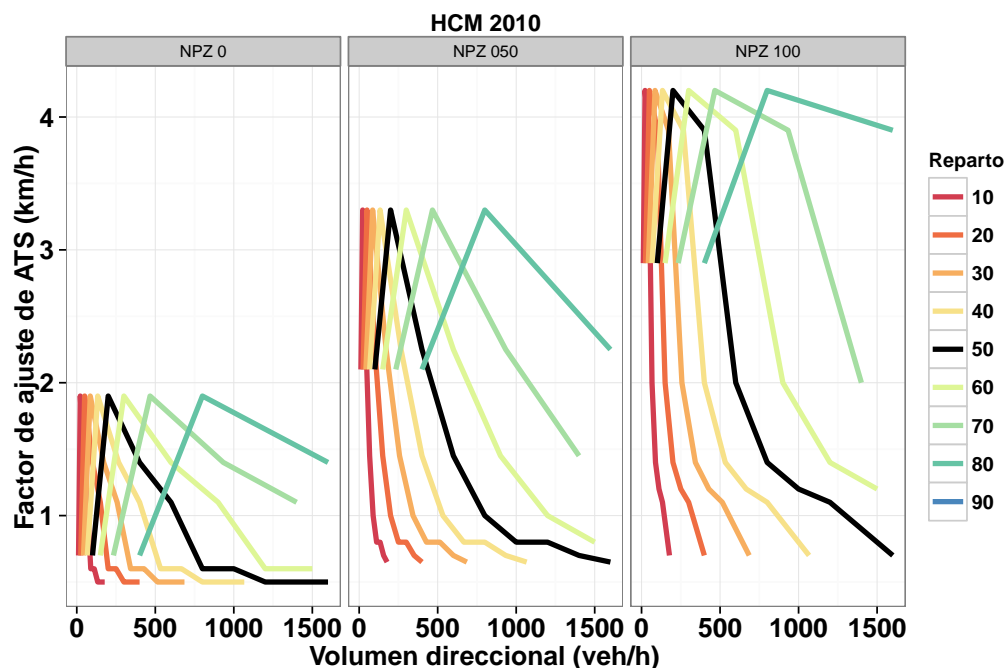
Donde:

- $ATS_d$ : velocidad media (km/h).
- $FFS_d$ : velocidad en flujo libre (km/h).
- $V_d$ : volumen direccional equivalente en el periodo de análisis (tur/h).
- $V_o$ : volumen opuesto equivalente en el periodo de análisis (tur/h).
- $f_{np,ats}$ : factor de ajuste de ATS en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (mi/h), sin conversión de los valores de la Tabla 15-15.
- $PTSF_d$ : porcentaje de vehículos en cola (%).
- $a, b$ : coeficientes, que dependen del volumen opuesto (Tabla 15-20 del HCM 2010).

- $f_{np,ptsf}$ : factor de ajuste del PTSF en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (%), Tabla 15-21.
- $PFFS_d$ : porcentaje de velocidad libre (%).

El efecto de los adelantamientos se considera en la metodología mediante factores de ajuste para la velocidad media de recorrido y el porcentaje de tiempo en cola. En el caso de la velocidad media, el factor de ajuste depende del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido, volumen opuesto y velocidad en flujo libre (Tabla 15-15 del HCM 2010); mientras que para el porcentaje de tiempo en cola depende del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido, volumen total y reparto (Tabla 15-21 del HCM 2010).

En la Figura 3.2 se muestra el ajuste a realizar sobre la velocidad media base en función del volumen direccional, reparto y porcentaje de zona de adelantamiento no permitido.

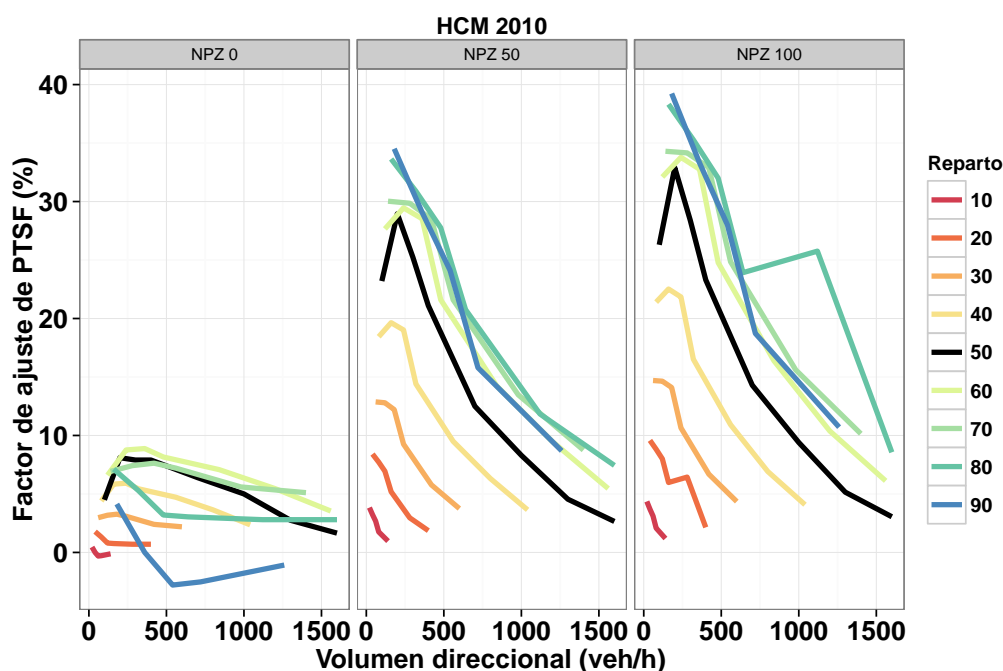


**Figura 3.2:** Ajuste de velocidad media en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido, con velocidad en flujo libre de 100 km/h

La influencia en la velocidad media se proporciona para un volumen opuesto constante, por lo que la máxima influencia no se produce siempre en el mismo volumen direccional. En reparto compensado, la reducción de velocidad media máxima se produce con volumen direccional de 200 veh/h. Además, al aumentar el porcentaje de adelantamiento no permitido la incidencia es mayor, aunque siempre es menor a 4.5 km/h.

Por otro lado, se ha calculado el ajuste a realizar al porcentaje de tiempo en cola base en función del porcentaje de zonas de adelantamiento no permitido (NPZ). El ajuste es máximo con volumen direccional alrededor de 250 veh/h, para flujos compensados (Figura 3.3), mientras que en escenarios con reparto más favorable, el máximo aumenta hasta 300 veh/h. A partir de dicho volumen, el factor de ajuste se reduce, para todos los repartos y NPZ. La incidencia de NPZ no es lineal, si bien aumenta al incrementarse el porcentaje de zona de adelantamiento no permitido. Por último, el ajuste es mayor al aumentar el reparto en la dirección de análisis.

La forma de los factores se ajusta a los escenarios donde a priori el número de adelantamientos es mayor, ya que en dichos escenarios la eliminación de zonas de adelantamiento permitido tiene un efecto mayor.



**Figura 3.3:** Ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido

La metodología se desarrolló a partir de las simulaciones realizadas en TWOPAS por Harwood et al. (1999). El estudio se analizará en la Sección 3.5.1.

### 3.3.2 Manual de Capacidad de Alemania

A diferencia de la metodología americana, el Manual de Capacidad alemán no considera el porcentaje de tiempo en cola como medida de desempeño, ya que la variable es una consecuencia del propio tráfico y por ello no expresa directamente el grado de eficiencia de la infraestructura para cada nivel de tráfico (Brilon y Weiser, 2006). La medida de desempeño empleada es la densidad de vehículos ligeros, y el análisis se realiza en la sección completa (no direccional).

En cada segmento homogéneo, se definió una relación entre intensidad y velocidad de vehículos ligeros a partir de observaciones en campo y microsimulación de tráfico en LASI. La relación no es lineal, como se propone en el HCM 2010, sino que es cóncava (Ecuación 3.14). Con el apoyo de la curva intensidad-velocidad, se determinaron los niveles de servicio en base a la densidad, con diferentes áreas del diagrama.

$$ATS_{pc} = a + b \sqrt{V_t} \quad (3.14)$$

Donde:

- $ATS_{pc}$ : velocidad media de vehículos ligeros (km/h).
- $V_t$ : volumen total (veh/h).
- $a, b$ : coeficientes.

Por otro lado, los segmentos de carretera convencional dependen también del alzado, planta y porcentaje de vehículos pesados. Para computar el alzado, se definieron 5 clases de gradientes (*class of gradient, COG*). Estas se delimitan por la velocidad mínima que puede alcanzar un vehículo pesado

en sus rampas y expresa el efecto combinado de la pendiente de la rampa y su longitud. Para la evaluación de la sinuosidad, se emplea el CCR (*curvature change rate*), que contabiliza el ángulo de giro acumulado a lo largo de la carretera. Las secciones con curvatura homogénea presentan la misma pendiente en la gráfica de ángulo de giro acumulado frente a longitud. Por su parte, no se realizan conversiones de los vehículos pesados a turismos equivalentes, ya que el impacto de un vehículo pesado no es proporcional a su porcentaje.

Para la definición de los modelos, se tomaron datos experimentales en 14 segmentos de carretera convencional, con la mayor variedad de trazado en alzado y planta, y rango de demanda de tráfico, hasta 2800 veh/h. Las medidas se llevaron a cabo con videos y se evaluó la velocidad puntual de los vehículos. En 10 de las localizaciones, también se calculó la velocidad de recorrido gracias a la identificación de los vehículos y la grabación sincronizada de las cámaras.

Posteriormente, los datos experimentales se utilizaron para calibrar el modelo de microsimulación alemán LASI, que se realizó en colaboración con los desarrolladores del programa (Universidad de Weimar y Universidad de Karlsruhe). No se indica la metodología del ajuste, ni su precisión, aunque se muestra una correlación buena en las gráficas comparativas de las medidas y la simulación.

### 3.3.3 Adaptación del Manual de Capacidad en Finlandia

El nivel de servicio en Finlandia se estima a partir de dos medidas de desempeño: velocidad media de vehículos ligeros y porcentaje de tiempo en cola (Luttinen, 2000).

En la metodología se incluye un refinamiento del volumen direccional con el fin de eliminar el efecto directo de los vehículos pesados. Únicamente se consideran los vehículos ligeros que no se encuentran siguiendo vehículos pesados, con un intervalo mínimo de 8 segundos. No obstante, el volumen opuesto sí que incluye todos los vehículos.

Al igual que en Alemania, la velocidad media se sustituye por la velocidad media de vehículos ligeros y adopta una forma funcional cóncava (Ecuación 3.15). Esta depende de la velocidad en flujo libre y de la anchura del carril.

$$ATS_{pc} = b_0 + b_1 \sqrt{V_d} + b_2 V_o \quad (3.15)$$

$$b_0 = FFS_d \quad (3.16)$$

$$b_1 = -0,166 - 0,00906 b_0 + 0,213 w_l \quad (3.17)$$

$$b_2 = 0,015 - 0,000191 b_0 \quad (3.18)$$

Donde:

- $ATS_{pc}$ : velocidad media de vehículos ligeros (km/h).
- $V_d$ : volumen direccional equivalente (tur/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $FFS_d$ : velocidad en flujo libre (km/h).
- $w_l$ : anchura del carril (m).

Por su parte, el porcentaje de tiempo en cola se estima con la Ecuación 3.19, que es posible linealizar. Esta medida de desempeño depende también del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido y de la velocidad límite de la carretera convencional.



$$PTSF_d = 1 - \exp\left(b_1 \frac{V_d}{3600} + b_2 \sqrt{\frac{V_o}{3600}}\right) \quad (3.19)$$

$$b_1 = 4,118 - 1,514 P_{npz} + 0,340 u(80) \quad (3.20)$$

$$b_2 = -0,439 + 0,093 w_l \quad (3.21)$$

Donde:

- $PTSF_d$ : porcentaje de tiempo en cola (%).
- $V_d$ : volumen direccional equivalente (tur/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $P_{npz}$ : porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (%).
- $u(80)$ : variable igual a 1 si la velocidad límite es de 80 km/h, e igual a 0 si es de 100 km/h.
- $w_l$ : anchura del carril (m).

Para el desarrollo de los modelos se emplearon datos experimentales de 20 carreteras convencionales en Finlandia. La velocidad límite de la vía era de 80 ó 100 km/h, y la curvatura media variaba entre 3 y 44 °/km. El porcentaje de zonas de adelantamiento no permitido era relativamente bajo, inferior al 38 %, con un valor medio del 15 % y 9 escenarios con un porcentaje inferior al 10 %.

La toma de datos se llevó a cabo mediante contadores automáticos situados en la carretera. Los datos se agregaron posteriormente en intervalos de 15 minutos, aunque para minimizar la posibilidad de dividir una cola se podían extender hasta el último vehículo en cola, considerando un intervalo de 8 segundos. No se podría exceder de 1 minuto extra.

### 3.3.4 Adaptación del Manual de Capacidad en Sudáfrica

La metodología de Sudáfrica evalúa la calidad del tráfico en función de la densidad de vehículos en cola (van As y van Niekerk, 2004). Esta nueva medida de desempeño se propuso para reemplazar el porcentaje de vehículos en cola, ya que se considera que captura mejor el servicio que se proporciona a todos los usuarios, en lugar de a los usuarios individuales, contabilizando también el volumen de tráfico. Con el porcentaje de vehículos en cola, es posible priorizar una actuación en un escenario con nivel de servicio inadecuado pero con poco tráfico frente a otro escenario con un nivel de servicio no tan bajo pero por el que circulan muchos más vehículos.

La densidad de vehículos en cola se calcula siguiendo la Ecuación 3.22.

$$FD = PF \frac{V_d}{ATS} \quad (3.22)$$

Donde:

- $FD$ : densidad de vehículos en cola (follower/km).
- $PF$ : porcentaje de vehículos en cola (%).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $ATS$ : velocidad media de recorrido (km/h).

El nivel de servicio se propone en función de la densidad de vehículos en cola, siguiendo el criterio de la Tabla 3.7.

LOS	FD (follower/km)	Rango de FD
A	1.0	0.3 - 1.4
B	2.0	1.3 - 3.3
C	4.0	3.0 - 6.7
D	8.0	6.3 - 9.5

**Tabla 3.7:** Criterios para la determinación del nivel de servicio en Sudáfrica

Los datos necesarios para la calibración de los criterios se tomaron en 25 carreteras convencionales en Sudáfrica mediante espiras electromagnéticas. Además, obtuvieron el porcentaje de vehículos en cola. Con los datos experimentales, se calibró el modelo macroscópico TWOLNE. El modelo se aplicó satisfactoriamente a la carretera N4 entre Belfast y Komatipport (van As, 2006).

La densidad de vehículos en cola también se emplea en Japón para la evaluación de carreteras semi-separadas (Catbagan y Nakamura, 2006). Estas vías son carreteras convencionales existen como una futura expansión a carreteras de cuatro carriles en Japón. En ellas, no se permite el adelantamiento en toda la longitud y ambos carriles de circulación se encuentran separados físicamente por medio de barreras o postes. En estas carreteras, la densidad de vehículos en cola presentó la mayor correlación con las medidas de tráfico. Además de esta variable, se consideraron también la velocidad media, la densidad, el porcentaje de tiempo en cola y el porcentaje de vehículos en cola.

### 3.3.5 Adaptación del Manual de Capacidad en Brasil

En Brasil se llevó a cabo la adaptación de las medidas de desempeño del HCM 2010 a sus condiciones locales (Bessa y Setti, 2011).

En base a los resultados experimentales y de simulación, el modelo lineal americano se sustituyó por un modelo cóncavo, similar al desarrollado en Alemania (Brilon y Weiser, 2006). Por otro lado, el porcentaje de tiempo en cola se modelizó con un modelo alternativo, que no sobreestima el *PTSF* en volumen bidireccional inferior a 400 veh/h y no lo subestima en volúmenes entre 500 y 1500 veh/h. Así, la velocidad media de recorrido y el porcentaje de tiempo en cola se calculan con las Ecuaciones 3.23 y 3.24, respectivamente.

$$ATS_d = FFS_d - 0,1398 \sqrt{V_d} - 0,1810 \sqrt{V_o} \quad (3.23)$$

$$PTSF_d = 100 (1 - a \exp(-b V_d^c)) \quad (3.24)$$

Donde:

- $ATS_d$ : velocidad media, en una carretera con velocidad en flujo libre de 100 km/h (km/h).
- $FFS_d$ : velocidad en flujo libre (km/h).
- $V_d$ : volumen direccional equivalente en el periodo de análisis (tur/h).
- $V_o$ : volumen opuesto equivalente en el periodo de análisis (tur/h).
- $PTSF_d$ : porcentaje de vehículos en cola (%).
- $a, b, c$ : coeficientes, que dependen del volumen opuesto (Tabla 3.8).

La calibración de las medidas de desempeño se llevó a cabo con datos experimentales y simulaciones. Los datos experimentales se recogieron en 10 localizaciones en la provincia de Sao Paulo. El flujo observado en 15 minutos varió entre 40 y 300 veh/h, con repartos de flujo variados y porcentajes de vehículos pesados entre el 3 y 59 %, llegando en algunos intervalos de 15 minutos incluso al 89 %. La velocidad media de vehículos ligeros era entre 15 y 25 km/h más elevada que la de vehículos pesados (Egami et al., 2006). Además, se instalaron lazos inductivos en otras cuatro secciones de carretera

Vo (veh/h)	a	b	c
200	1.084	-0.007	0.783
400	1.119	-0.017	0.680
600	1.162	-0.026	0.631
800	1.193	-0.034	0.98
1000	1.212	-0.037	0.594
1200	1.196	-0.034	0.608

**Tabla 3.8:** Valores de los coeficientes para el cálculo de PTSF (Bessa y Setti, 2011)

convencional, donde la velocidad máxima permitida era de 80 km/h. Finalmente, para cubrir zonas con mayor volumen de tráfico, se realizaron observaciones en una carretera convencional altamente direccional, con un flujo entre 66 y 200 veh/h en un sentido y entre 850 y 1350 veh/h en el sentido contrario (Bessa, 2009). No observaron las maniobras de adelantamiento.

Todos los datos se emplearon para la calibración y validación de TWOPAS mediante algoritmos genéticos. Con el modelo validado, se generaron 500 escenarios de tráfico direccional entre 0 y 1700 veh/h, variando el reparto entre ambas direcciones de tráfico. El flujo opuesto se varió de 200 a 1600 veh/h, con saltos de 200 veh/h. Cada uno de los escenarios de tráfico se replicó con 5 semillas aleatorias. Se empleó una carretera convencional de 10 km sin restricción al adelantamiento, luego el efecto de la prohibición del adelantamiento no se ha considerado.

### 3.3.6 Adaptación del Manual de Capacidad en Argentina

La calibración a las condiciones locales argentinas del HCM 2010, a partir de datos observacionales y procedentes de microsimulación en CORSIM, fue presentada por Maldonado et al. (2012).

La metodología de evaluación es muy similar a la propuesta por el Transportation Research Board (2010), con un ajuste del volumen direccional a vehículos ligeros equivalentes. La calibración de los factores de equivalencia se llevó a cabo mediante simulaciones en CORSIM, manteniendo la ecuación original. Tras el ajuste de la demanda, se propusieron modelos para la estimación de la velocidad media y el porcentaje de tiempo en cola. El modelo lineal de la velocidad media fue el que producía mejor ajuste con los datos (Ecuación 3.25), aunque se adoptó otra forma funcional para el porcentaje de tiempo en cola (Ecuación 3.26).

$$ATS_d = FFS_d - 0,013 V_d - 0,002 V_o - f_{npats} \quad (3.25)$$

$$PTSF_d = V_d^a \exp(b - c V_d) + f_{npptsf} \frac{V_d}{V_d + V_o} \quad (3.26)$$

Donde:

- $ATS_d$ : velocidad media, en una carretera con velocidad en flujo libre de 100 km/h (km/h).
- $FFS_d$ : velocidad en flujo libre (km/h).
- $V_d$ : volumen direccional equivalente en el periodo de análisis (tur/h).
- $V_o$ : volumen opuesto equivalente en el periodo de análisis (tur/h).
- $f_{npats}$ : factor de ajuste de ATS en función de las zonas de adelantamiento no permitido (HCM 2010).
- $PTSF_d$ : porcentaje de vehículos en cola (%).
- $a, b, c$ : coeficientes, que dependen del volumen opuesto (Tabla 3.9).

- $f_{npotsf}$ : factor de ajuste de PTSF en función de las zonas de adelantamiento no permitido (HCM 2010).

Vo (veh/h)	a	b	c
100	0.7502	-0.6743	0.00021
200	0.6896	-0.1809	0.00024
400	0.6355	0.2463	0.00025
600	0.6398	0.2538	0.00027
800	0.6217	0.3762	0.00026
1000	0.6049	0.4847	0.00025
1200	0.5978	0.5269	0.00025
1400	0.6108	0.4537	0.00026
1600	0.6491	0.2285	0.00030
1700	0.6365	0.3032	0.00029

**Tabla 3.9:** Valores de los coeficientes para el cálculo de PTSF (Maldonado et al., 2012)

A falta de una calibración propia del efecto de las zonas de adelantamiento, recomienda emplear los mismos factores de ajuste que el Transportation Research Board (2010) para el porcentaje de zona de adelantamiento no permitido.

Los datos experimentales se tomaron en 3 carreteras convencionales, por medio de observación directa, en sesiones de 75 minutos. El porcentaje de vehículos pesados varió entre el 4 y 20 %, y el volumen direccional observado entre 230 y 650 veh/h. El porcentaje de zona de adelantamiento no permitido se encontraba entre el 30 y 69 %.

Los datos experimentales se emplearon para calibrar CORSIM mediante un doble análisis de sensibilidad de las variables del programa y de las variables más significativas. La función objetivo consideró la distribución de intervalos, el porcentaje de vehículos en cola, la velocidad media de recorrido y la velocidad puntual. El modelo calibrado se ejecutó con vehículos ligeros y flujo de tráfico direccional entre 100 y 1700 veh/h, variando el reparto. En total se consideraron 1500 escenarios, con 4 velocidades de flujo libre.

### 3.3.7 Otros métodos

#### 3.3.7.1 Basados en una velocidad umbral

Romana y Pérez (2006) proponen una metodología alternativa para la evaluación direccional de la funcionalidad de las carreteras convencionales con las mismas medidas de desempeño que el HCM 2010, pero considerando un intervalo de 4 segundos para los vehículos en cola.

La evaluación del nivel de servicio se diversifica en función de una velocidad umbral, que se define como la mínima velocidad que consideran los usuarios aceptable para circular en un tramo homogéneo dentro de colas. En escenarios donde los conductores circulan con velocidad inferior a la velocidad umbral, el nivel de servicio se determina únicamente por la velocidad de circulación, mientras que si la velocidad es superior a la velocidad umbral, se considera únicamente el porcentaje de vehículos en cola (intervalo de 4 segundos). Con esta metodología se separan los diversos modelos de circulación, sin necesidad de una clasificación previa del tipo de carretera, y es posible proporcionar distinto nivel de servicio a carreteras con alto porcentaje de vehículos en cola pero nivel de velocidad aceptable de aquellas con una caída de velocidad.

Para las condiciones observadas en España, la velocidad umbral se sitúa en 80 km/h. La estimación del nivel de servicio se realiza con la Figura 3.4.

La estimación de la velocidad umbral se realizó a partir de datos experimentales en la Comunidad de Madrid, descritos ya en la Sección 3.2.2.5.

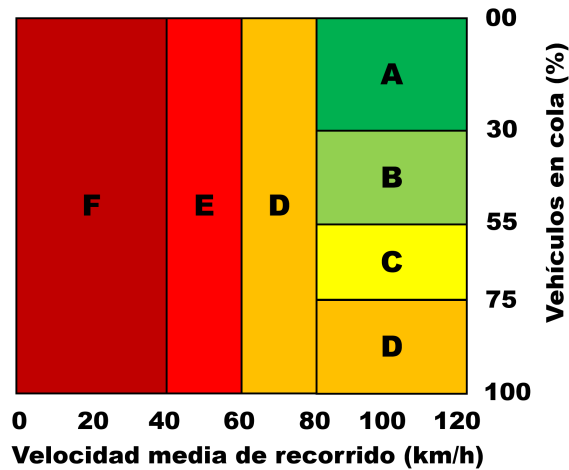


Figura 3.4: Evaluación del nivel de servicio (Romana y Pérez, 2006)

### 3.3.7.2 Basados en la teoría de colas

Polus y Cohen (2009) propusieron nuevas medidas de desempeño alternativas basadas en la teoría de colas, que son posibles de obtener a partir de los intervalos entre vehículos. De esta manera, son fáciles de medir en campo y podrían sustituir la definición del porcentaje de tiempo en cola adoptada por el HCM 2010. Se proponen las siguientes medidas de desempeño:

- Longitud media de cola *APL*: número de vehículos en una cola, incluyendo al vehículo líder (Ecuación 3.27).
- Intensidad de la circulación,  $\rho$ : ratio entre el tiempo medio de seguimiento del primer vehículo en la cola y el tiempo medio de llegada al final de la cola (Ecuación 3.28).
- Porcentaje de tiempo en cola, *PTSF*: porcentaje de tiempo en que los vehículos circulan dentro de una cola (Ecuación 3.29).
- Libertad de la circulación,  $\eta$ : ratio entre el tiempo medio entre colas y el tiempo medio desde la llegada al final de la cola y el comienzo del adelantamiento (Ecuación 3.30).

$$APL = Q_0 + 1 \quad (3.27)$$

$$\rho = 1 - \frac{1}{Q_0} \quad (3.28)$$

$$PTSF = 100 \frac{Q_0 - 1}{Q_0 + N_0 - 1} \quad (3.29)$$

$$\eta = \frac{N_0}{\rho} \quad (3.30)$$

Donde:

- *APL*: longitud media de cola (veh).
- $Q_0$ : número medio de intervalos dentro de colas.
- $\rho$ : intensidad de la circulación.
- *PTSF*: porcentaje de tiempo en cola.
- $N_0$ : número medio de intervalos entre colas.

- $\eta$ : libertad de la circulación.

La identificación de los vehículos en cola se realiza con el intervalo de 3 segundos, propuesto en el HCM 2010.

Las medidas se calibraron posteriormente con datos de 15 localizaciones en Israel, con volumen direccional entre 325 y 1170 veh/h y velocidad media de vehículos rápidos entre 72 y 100 km/h. Los coeficientes de determinación fueron, para cada medida, del 52, 62, 93 y 98 %, respectivamente. Los modelos ajustados se muestran en las Ecuaciones 3.32 a 3.34. La libertad de la circulación se propuso como medida de desempeño.

$$APL = \begin{cases} 1 + 0,00343 V_d - 1,255 \times 10^{-6} V_d^2 & V_d \leq 700 \text{ veh/h} \\ 1,6152 + 0,00168 V_d & V_d \geq 700 \text{ veh/h} \end{cases} \quad (3.31)$$

$$\rho = 0,68 (1 - \exp(-0,004 V_d)) \quad (3.32)$$

$$PTSF = 100 (1 - \exp(-0,000504 V_d)) \quad (3.33)$$

$$\eta = \frac{4950}{V_t} \quad (3.34)$$

Donde:

- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_t$ : volumen total (veh/h).

Posteriormente, se tomaron más datos experimentales en otras 35 localizaciones para validar la definición del *PTSF* en función de los intervalos (Cohen y Polus, 2011); si bien no se indicó la calidad del ajuste. Las estimaciones son inferiores que las realizadas con la metodología del HCM 2010.

Además, Cohen y Polus (2011) especificaron las hipótesis del modelo M/M/1. El modelo asume que los vehículos se acercan a la cola siguiendo una distribución geométrica, que los adelantamientos se producen siempre que hay un hueco disponible y que únicamente adelanta el vehículo que se encuentra en primera posición de la cola. Por tanto, todos los vehículos desean adelantar y el vehículo que llega al final de una cola tiene que esperar a que todos los vehículos que le preceden hayan adelantado, en orden, para poder activar su deseo de adelantar.

Rozenshtein et al. (2012) calibraron la intensidad de la circulación y el porcentaje de tiempo en cola con otras 25 localizaciones en 15 carreteras. No se indica si son las mismas carreteras que las empleadas en Polus y Cohen (2009) y Cohen y Polus (2011). Al igual que en los estudios anteriores, las estimaciones son netamente inferiores a las del Manual de Capacidad, entre un 5 y 25 % de diferencia. Las mayores diferencias se producen con volumen direccional de 1000 veh/h, y se mantienen prácticamente constantes hasta la capacidad. Es más, el *PTSF* máximo que alcanza el modelo es inferior al 70 %. La intensidad de la circulación recalibrada sigue la Ecuación 3.35.

$$\rho_2 = 0,65 (1 - \exp(-0,0044 V_d)) \quad (3.35)$$

### 3.3.7.3 Basados en el ratio de adelantamientos

Werner y Morrall (1984) proponen una teoría unificada para la evaluación funcional de las carreteras convencionales. Esta teoría estudia el balance entre la demanda de adelantamientos existente, en función del tráfico direccional, con la oferta de adelantamientos que presenta el flujo opuesto. La teoría busca dar respuesta a las quejas de los usuarios que, a pesar de circular a velocidad relativamente elevada, perciben un nivel de servicio bajo si circulan en cola.

En primer lugar, se estima la oferta de adelantamientos que permite un nivel de tráfico opuesto. Los datos de adelantamiento se tomaron en una sección de 10 km en la carretera Trans Canada y se estimó que los adelantamientos se producen si el hueco en el flujo opuesto es superior a 25 segundos. Por tanto, la oferta de adelantamientos se calcula como el porcentaje de tiempo (1 hora) en que los huecos son superiores a 25 segundos, dado un nivel de tráfico (Ecuación 3.36). El hueco crítico difiere de los 30 segundos indicados por Mc Lean (1989) y los 20 segundos de Dommerholt y Botma (1988).

$$Ad_o = 100 (\exp(-0,0018626 V_o)) \quad (3.36)$$

Donde:

- $Ad_o$ : porcentaje de una hora con huecos superiores a 25 segundos.
- $V_o$ : intensidad opuesta (veh/h).

En segundo lugar, se deduce la demanda de adelantamientos. Se propone el modelo de Wardrop (1952) como máximo teórico, aunque se debe calibrar un modelo que estime el número de adelantamientos deseados. Los datos observados en tres secciones de la carretera indicaron demandas de adelantamiento muy diferentes, en función del volumen y el reparto.

Finalmente, se estudia el balance de la demanda de adelantamientos y la oferta de adelantamientos.

En una investigación posterior, Morrall y Werner (1990) introducen el ratio de adelantamientos como medida de desempeño. Esta variable se define como el cociente entre el número de adelantamientos observado y el número de adelantamientos deseado.

Los datos se calibraron y validaron TRARR con datos de un tramo de 30 km en la carretera Trans Canada en el parque nacional de Yoho. Estimaron el número de adelantamientos a partir de simulaciones con flujo equilibrado en varios tipos de terreno (llano, ondulado), porcentaje de adelantamiento no permitido (0, 52 %) y composición (ligeros, tráfico mixto). El tráfico total varió entre 100 y 2000 veh/h, con 8 categorías. El número de adelantamientos deseado corresponde a una carretera con un tercer carril para facilitar el adelantamiento.

En la Figura 3.5 se muestra el ratio de adelantamientos en una carretera con el 0 % de NPZ, 52 % y un carril de adelantamiento.

Los criterios para la determinación del nivel de servicio quedaron pendientes de un análisis posterior.

El ratio de adelantamientos fue considerado como posible medida de desempeño, pero se descartó por su complejidad de medición en campo y porque no estaba bien valorada por los usuarios del HCM (Harwood et al., 1999).

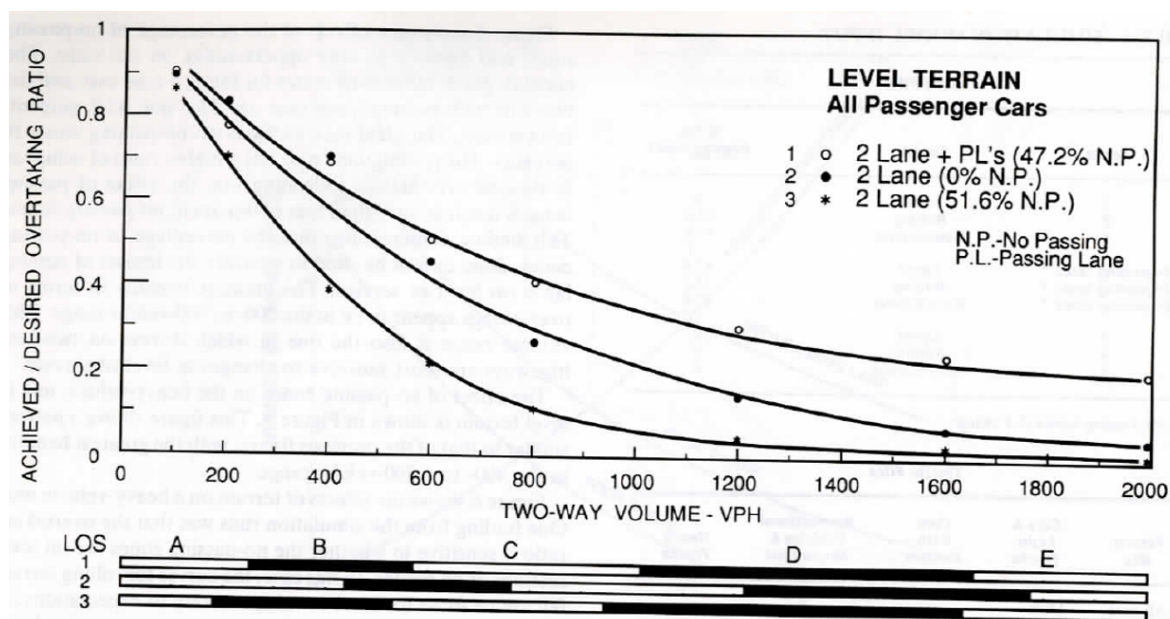


Figura 3.5: Ratio de adelantamientos (Morrall y Werner, 1990)

### 3.3.7.4 Basados en la densidad

La densidad de vehículos se propone como medida de desempeño de carreteras convencionales con una velocidad de diseño de 80 km/h (Botha et al., 1994). Esta medida se emplea en otros tipos de vía, por lo que facilita su comparación, y elimina los problemas de insensibilidad del porcentaje de tiempo en cola en tráfico elevado.

El estudio de Botha et al. (1994) basa sus resultados en datos experimentales recogidos en dos carreteras convencionales con velocidad de diseño 80 km/h y un elevado porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (96 y 100 %), en terreno llano y ondulado. El tráfico tenía un reparto equilibrado y volumen de tráfico total entre 500 y 800 veh/h. Estos datos de campo se emplearon para calibrar TWOPAS y establecer las relaciones entre el volumen y las medidas de desempeño.

Como primera solución, proponen trasladar los umbrales del HCM 1985 de porcentaje de tiempo en cola a densidad, si bien los umbrales deberían ser revisados en investigaciones posteriores (Tabla 3.10).

NS	PTSF (%)	ATS (km/h)	Vt (tur/h)	Densidad (tur/km)
A	≤ 30	92.8	420	≤ 4,5
B	≤ 45	88.0	756	≤ 8,6
C	≤ 60	83.2	1204	≤ 14,5
D	≤ 75	80.0	1792	≤ 22,4
E	75	72.0	2800	≤ 38,9
F	100	72.0	-	38.9

Tabla 3.10: Niveles de servicio en función de la densidad en condiciones ideales (Botha et al., 1994)



### 3.3.7.5 Basados en el porcentaje de vehículos impedidos

El porcentaje de vehículos impedidos se define por Al-Kaisy y Durbin (2008) para solucionar la sobreestimación del porcentaje de tiempo en cola en la metodología del Manual de Capacidad del 2000, ya que únicamente deberían considerarse los vehículos que están en cola y desean adelantar. Para ello, desarrolló dos formas de cálculo: ponderada y probabilística.

En la primera metodología, el porcentaje de vehículos impedidos se calcula con medias ponderadas a partir de la velocidad de todos los vehículos ( $ATS_t$ ), velocidad deseada en vehículos ligeros ( $ATS_{dpc}$ ), velocidad de los vehículos pesados ( $ATS_{hv}$ ), la proporción de vehículos pesados ( $P_{hv}$ ) y la proporción de vehículos ligeros ( $P_{pc}$ ), según la Ecuación 3.37.

En la segunda metodología, el porcentaje de vehículos impedidos (Ecuación 3.38) se calcula a partir del porcentaje de vehículos en cola, con un intervalo superior a 6 segundos ( $P_p$ ), y el percentil de la distribución de velocidad deseada de todos los vehículos al que corresponde la velocidad media de los vehículos lentos ( $P_{imp}$ ). Se consideran vehículos lentos aquellos que lideran una cola, mientras que la velocidad deseada se calcula a partir de los vehículos que circulan fuera de las colas.

$$PI_w = \frac{ATS_t - ATS_{dpc} P_{pc} - ATS_{hv} P_{hv}}{ATS_{hv} - ATS_{dpc}} \quad (3.37)$$

$$PI_p = P_p * P_{imp} \quad (3.38)$$

Donde:

- $PI_w$ : porcentaje de vehículos impedidos con la metodología ponderada (%).
- $PI_p$ : porcentaje de vehículos impedidos con la metodología probabilística (%).

Las medidas se validaron con datos de campo en tres localizaciones de Montana, tomados a partir de tubos neumáticos. Los escenarios tenían un porcentaje de zonas de adelantamiento no permitido entre el 5 y 33 % e intensidad de tráfico entre 68 y 755 veh/h. Se obtuvieron 236 horas de datos direccionales. En las Ecuaciones 3.39 y 3.40 se muestran las medidas calibradas.

$$PI_w = 0,04716 V_d + 0,002104 V_o + 1,22248 HV + 0,31156 NPZ \quad (3.39)$$

$$PI_p = 0,05784 V_d + 0,00799 V_o + 1,48486 HV + 0,11363 NPZ \quad (3.40)$$

Donde:

- $PI_w$ : porcentaje de vehículos impedidos con la metodología ponderada (%).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $HV$ : porcentaje de vehículos pesados (%).
- $NPZ$ : porcentaje de zonas de adelantamiento no permitido (%).
- $PI_p$ : porcentaje de vehículos impedidos con la metodología probabilística (%).

### 3.3.7.6 Basados en el porcentaje de demora

Yu y Washburn (2009) desarrollaron una metodología analítica para la evaluación funcional de carreteras convencionales con intersecciones semaforizadas aisladas u otros elementos de control, como intersecciones con stop o carriles con giro a izquierda. La metodología está basada en el porcentaje de demora.

El porcentaje de demora se define como el ratio entre la demora y el tiempo de recorrido en flujo libre, siendo la demora la diferencia entre el tiempo de recorrido y el tiempo de recorrido en flujo libre. Se expresa matemáticamente con la Ecuación 3.41.

$$PD = \frac{\sum (D_h + D_s)}{\sum \left( \frac{L_h}{FFS_h} + \frac{L_s}{FFS_s} \right)} \quad (3.41)$$

Donde:

- $PD$ : porcentaje de demora (%).
- $D_h$ : demora media por vehículo en el segmento (s/veh).
- $D_s$ : demora media por vehículo en el área de influencia de la intersección semaforizada (s/veh).
- $L_h$ : longitud de la vía (km).
- $FFS_h$ : velocidad en flujo libre en el segmento (km/h).
- $L_s$ : longitud del área de influencia de la intersección semaforizada (km).
- $FFS_s$ : velocidad en flujo libre en el área de influencia de la intersección semaforizada (km/h).

Además, se proponen criterios para la segmentación del área de influencia de la intersección semaforizada.

Posteriormente, Washburn et al. (2012) desarrollaron un módulo en CORSIM que considerase el efecto de las intersecciones semaforizadas en carreteras convencionales, a partir del cual calibraron la longitud del área de influencia de la intersección semaforizada. Con las simulaciones, Li y Washburn (2014) propusieron los criterios para la determinación del nivel de servicio en función del porcentaje de demora de la Tabla 3.11.

NS	Clase I	Clase II	Clase III
A	<9	<12	<9.5
B	9-14	12-16	9.5-21.5
C	14-20.5	16-23	21.5-36.5
D	20.5-30.0	23-36.5	36.5-55.5
E	>30.0	>36.5	>55.5

**Tabla 3.11:** Niveles de servicio en función del porcentaje de demora en condiciones ideales (Li y Washburn, 2014)

Los resultados quedan pendientes de validación con datos experimentales.

### 3.3.7.7 Medidas alternativas

Además de las anteriores medidas de desempeño, algunos autores han evaluado qué medidas prefieren los usuarios mediante encuestas y/o grupos de discusión.

Washburn (2005) estudió las medidas de desempeño en carreteras convencionales. En los grupos de discusión se tuvieron entrevistas y además se mostraron vídeos para debate. Se concluyó que la calidad de servicio depende de varios factores, como la calidad del pavimento, seguridad vial y oportunidad de adelantamiento. Además, las expectativas de calidad en una carretera convencional dependen de la función de la carretera (arterial, colectora) y del tipo de urbanización (rural, en zona urbanizada, etc.).

Por todo ello, se recomienda incluir en la clasificación del tipo de vía, además de la velocidad esperada, las oportunidades de adelantamiento. Para cada clase de carretera, la determinación del nivel de servicio no será únicamente el valor de una o dos medidas de desempeño, sino con una combinación de ellas con coeficientes en función del tipo de vía (Morris, 2005).

En España también se realizaron encuestas para conocer el grado de satisfacción de los usuarios de carreteras convencionales de la Comunidad de Madrid (Jarillo y García Martín, 2002). Se realizaron encuestas domiciliarias, encuestas en gasolineras e intercambiadores y grupos de discusión con representación de transportistas, taxistas, ciclistas, conductores de autobús y empleados de la Dirección General de Tráfico. Al igual que en los grupos de discusión en Florida, la calidad de servicio depende de varios factores, principalmente la seguridad de circulación, seguida del confort (estado del pavimento), la rapidez (velocidad media y falta de congestión), la información disponible (señalización de obras, gloriets o dispositivos de moderación de tráfico) y el medio ambiente. Además, un 40 % indica la necesidad de instalar un carril para uso exclusivo de ciclistas.

Destacar que ambos estudios indican que la regularidad superficial proporciona calidad a la circulación para los usuarios. Según Chandra (2004), la rugosidad del pavimento también es un factor limitante de la capacidad de la carretera y de la calidad del servicio. En su estudio, indica que la capacidad se reduce en 300 tur/h si la regularidad superficial se reduce en 1000 mm/km.

Finalmente, en India también se ha revisado y estudiado la literatura para identificar las medidas más apropiadas en tráfico mixto (Ghosh et al., 2013). Se concluye que el porcentaje de tiempo en cola y el porcentaje de vehículos en cola pueden no ser adecuados en sus condiciones de tráfico, por la complejidad de diferenciar entre vehículos líderes y en cola. Además, indica la necesidad de correlacionar posteriormente las medidas de desempeño con el ratio volumen-capacidad ( $V/C$ ) para el establecimiento del nivel de servicio.

## 3.4 Modelos de microsimulación de tráfico aplicables en carreteras convencionales

La simulación de tráfico es un recurso cada vez más empleado para el análisis de la operación de tráfico, como se indica en el HCM 2010, y para ello se han desarrollado guías para su uso adecuado en Estados Unidos (Transportation Research Board, 2010; University of Florida y T-Concepts Corp, 2007) y en Europa (Antoniou et al., 2014; Barcelo, 2010). En todas las guías, se remarca la necesidad de calibrar el modelo de microsimulación con datos locales de campo, para así poder reflejar adecuadamente el comportamiento del conductor.

Estos modelos simulan el comportamiento individual de todos los vehículos en la carretera convencional cada intervalo, revisando su posición, velocidad y aceleración. No obstante, no todos los modelos de microsimulación son aplicables en carreteras convencionales, ya que en estas vías deben ser capaces de considerar la interacción con los vehículos circulando en la misma dirección y la opuesta y así ser capaces de reproducir maniobras de adelantamiento. En esta Sección se resumen los principales modelos de microsimulación de tráfico aplicables en carreteras convencionales.

### 3.4.1 TWOPAS (TWO-lane PASSing)

TWOPAS fue desarrollado en los años setenta por el Midwest Research Institute para la Federación de Carreteras americana (*US Federal Highway Administration, FHWA*). La revisión de este modelo la realizaron Leiman et al. (1998) y ha servido de base para la actualización de la metodología del HCM 2000. Además, Allen et al. (2000) mejoraron el comportamiento en rampas y pendientes. Actualmente, TWOPAS está integrado en el Módulo de Análisis de Tráfico (*Traffic Analysis Module, TAM*) del Módulo Interactivo de Diseño Seguro de EEUU (*Interactive Highway Safety Design Model, IHSDM*) y es de acceso gratuito (ITT Corporation, 2011).

TWOPAS emplea un intervalo de 1 segundo. En él, se pueden especificar hasta 13 tipos de vehículos a partir de sus características técnicas. Igualmente, se puede indicar la distribución de velocidad deseada (media y desviación típica). Además, es posible asignar el porcentaje de vehículos en cola al inicio del segmento.

En TWOPAS, la geometría en planta y alzado se introduce y se utilizan para calcular la visibilidad disponible a lo largo de la carretera, limitando algunas zonas de adelantamiento, y la distribución de velocidad de paso en las curvas. Ambas características son muy importantes en la simulación de carreteras convencionales, ya que se controla la velocidad en las curvas, adaptándola según una distribución al radio de la curva, y considera la visibilidad disponible en la maniobra de adelantamiento.

A pesar de permitir la simulación de un tercer carril o carreteras multicarril, no es posible incluir intersecciones semaforizadas. Además, el volumen direccional está limitado a 1700 veh/h, ya que a partir de dicho tráfico el programa se bloquea (ITT Corporation, 2011).

Para el desarrollo de TWOPAS se emplearon datos de campo de los años setenta sobre variaciones en el comportamiento de los conductores, el adelantamiento y el cambio de carril en tercer carril. La lógica de la maniobra de adelantamiento, descompuesta en el deseo de adelantar, realización de la maniobra o aborto de la misma, se calibraron con los datos de los años setenta y se han mantenido sin variaciones desde entonces (Harwood et al., 1999). No se proporcionan detalles del modelo de adelantamiento empleado.

La salida de TWOPAS proporciona numerosos resultados, entre los que se incluye el flujo de tráfico simulado, el porcentaje de tiempo libre, la velocidad media de recorrido (global y por tipo de vehículo), la demora, la demora geométrica, el número de adelantamientos, la distribución de velocidad o la distribución de intervalos. En la distribución de intervalos se incluyen únicamente intervalos enteros. TWOPAS considera que el vehículo se encuentra en cola si se encuentra en cualquier estado excepto el primero. Los restantes cinco estados son: adelantando a un líder, pero aún 2.4 m/s más rápido que el líder, siguiendo a un líder, siguiendo a un líder y con interés de adelantar, adelantando a otro vehículo o abortando un adelantamiento. Así, el porcentaje de tiempo libre se computa como el tiempo en el estado 1 (libre) dividido por el tiempo total de viaje (Harwood et al., 1999).

TWOPAS ha sido empleado ampliamente en la literatura, principalmente en Estados Unidos para el desarrollo del HCM 2000 y HCM 2010, y para el estudio de la aportación funcional de zonas de adelantamiento cortas (Harwood et al., 2010). También se utilizó en España para evaluar el tercer carril (Valencia-Alaix y García, 2010) y en Brasil para calibrar las medidas de desempeño (Bessa y Setti, 2011).

### 3.4.2 TRARR (TRAffic on Rural Roads)

TRARR es el programa análogo a TWOPAS desarrollado y utilizado en Australia. El programa se desarrolló en los años setenta y ochenta por el *Australian Road Research Board* (ARRB) y se diseñó específicamente para carreteras convencionales (Koorey, 2002).

El modelo permite la simulación de carreteras convencionales sin intersecciones, donde los vehículos entran y salen de la carretera en los extremos de la vía. Se puede incluir un tercer carril y carreteras multicarril (Federal Highway Administration, 1996). El modelo de adelantamiento permite la maniobra cuando el tiempo necesario para su realización más un factor de seguridad es superior al hueco disponible. Los parámetros se basaron en los datos experimentales de Troutbeck (1982), cuyo alcance son volúmenes direccionales inferiores a 150 veh/h.

Según Mc Lean (1989), es posible identificar 18 tipos de vehículo y la velocidad de paso en curva se limita por su geometría, dadas unas reglas de construcción del perfil de velocidad que incluyen la velocidad de paso y las tasas de deceleración y aceleración.

Dentro de los datos de salida, se incluye el tiempo de recorrido, la velocidad, el tiempo en cola, el número de adelantamientos y el consumo de combustible Mc Lean (1989).

Por otro lado, existen cuatro archivos para describir los datos de entrada (Koorey, 2002). En el primero se define la geometría; en el segundo, el volumen de tráfico, composición y velocidad deseada; en el tercero, las características técnicas de los vehículos y finalmente, las localizaciones de los detectores. Además identifica algunos aspectos como la dificultad de emplear datos de campo para su calibración, la imposibilidad de modelizar zonas con velocidad reducida o que no se van a realizar nuevos desarrollos en el programa.

### 3.4.3 CORSIM (CORridor-microscopic SIMulation program)

CORSIM es el componente principal y núcleo de modelización y simulación del pack de productos comerciales TSIS (*Traffic Software Integrated System*). CORSIM combina e integra los modelos NETSIM y FRESIM (McTrans, 2011), desarrollados en los años setenta. El primero de ellos está destinado para vías urbanas y el segundo de ellos, para autopistas (Federal Highway Administration, 1996). En los últimos años, se han realizado numerosas mejoras a CORSIM, como incluir un módulo para carreteras convencionales (Li y Washburn, 2011) e incorporar intersecciones semaforizadas en carreteras convencionales (Yu y Washburn, 2009; Li y Washburn, 2014).

En CORSIM existen 10 tipos de conductor en función de su agresividad. A cada tipo de conductor se le aplica un coeficiente multiplicador para determinar la velocidad deseada, en función de la velocidad deseada en la vía. La velocidad máxima en una sección está determinada por la velocidad deseada, la velocidad máxima de la sección y la velocidad máxima asociada a una curva horizontal para asegurar su estabilidad. La velocidad de vehículos pesados se calcula en función de los mismos factores de agresividad. No obstante, no es posible indicar el porcentaje de vehículos en cola al principio del segmento.

Li y Washburn (2011) incorporaron las maniobras de adelantamiento en CORSIM, con el modelo de distancia de adelantamiento de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official, 2011). Algunos valores de los parámetros se determinaron en base a los resultados de Kim y Elefteriadou (2010) y análisis de sensibilidad. En los test preliminares se comprobaron las relaciones intensidad-velocidad, intensidad-porcentaje de tiempo en cola y densidad de vehículos en cola-intensidad. Los resultados fueron satisfactorios y producían valores lógicos. En comparación con el HCM 2010, las medidas de desempeño no proporcionaban resultados similares en velocidad media, con formas no lineales, aunque las estimaciones de porcentaje de tiempo en cola sí eran ajustadas (Washburn et al., 2012).

El nuevo módulo produce también nuevos resultados, entre los que se encuentra la densidad de vehículos en cola, el porcentaje de tiempo en cola, la velocidad media de recorrido, el ratio de demora y el tiempo de circulación en flujo libre, el número de adelantamientos completados y abortados, la

distancia media en el carril izquierdo y la proporción de longitud requerida para completar el adelantamiento fuera de la zona.

#### 3.4.4 Aimsun

Aimsun ha incluido un módulo específico para carreteras convencionales, donde el adelantamiento está permitido (Llorca et al., 2014). El modelo de adelantamiento incorpora 14 parámetros que incluyen y analizan el factor humano, la geometría de la vía y las características técnicas de los vehículos. El desarrollo del modelo y calibración inicial de los parámetros se realizó de forma conjunta entre la UPV y TSS. Para ello, se emplearon más de 1752 maniobras de adelantamiento en España, observadas en el proyecto de investigación PASSING.

Las mayores innovaciones en Aimsun incluyen una función global para determinar el deseo de adelantar en función de la demora y la diferencia de velocidad deseada y actual, el efecto de la visibilidad disponible en la aceptación del hueco, la posibilidad de incrementar la velocidad durante el adelantamiento, reducción del deseo de adelantar en función de la distancia hasta el final de la vía e impacto de la posición en la cola. Además, la velocidad deseada se introduce mediante una distribución log-normal, con su valor medio y desviación típica, por tipo de vehículo. El intervalo de simulación puede ser de hasta 0.1 segundos.

Dentro de los resultados de salida de Aimsun, se incluyen gráficas con el número de adelantamientos, el porcentaje de vehículos en cola, el porcentaje de tiempo en cola, la velocidad media por tipo de vehículo o la densidad.

Aimsun, al igual que CORSIM, no se desarrollaron específicamente para carreteras convencionales y se ha realizado una extensión para las mismas. A pesar de poder incluir la geometría de la carretera gráficamente, no es posible el control automático de la velocidad de paso en curvas y no se puede determinar el perfil de visibilidad. Además, tampoco permite comenzar un segmento de carretera con un porcentaje de vehículos en cola determinado.

Actualmente, se encuentra en comercialización en versión beta.

#### 3.4.5 Otros

Tapani (2005) desarrolló el modelo de microsimulación RutSim (RUral road Traffic SIMulator) a partir de VTISim, un modelo sueco de los años setenta. Según Mc Lean (1989), VTISim era uno de los modelos más empleados hasta 1989. El programa permite la simulación de carreteras convencionales limitadas en sus extremos por intersecciones o glorietas. En el programa se puede introducir las características geométricas de las carreteras, así como el perfil de velocidad y la sección transversal, los cuales condicionan la velocidad. Además, se introduce el volumen y composición de tráfico, y la matriz origen-destino. El intervalo de simulación puede ser de hasta 0.1 segundos. RutSim se empleó para estudiar los efectos de sistemas de ayuda a la conducción y se calibró y validó con datos experimentales de Suecia. RuTSim se ha utilizado en la evaluación del sistema de ayuda a la conducción desarrollado por Hegeman et al. (2009).

Paramics (PARAllel MICROscopic Simulation) es un modelo de microsimulación comercial desarrollado en los años noventa en el Reino Unido para analizar vías urbanas congestionadas. Posteriormente, desarrollaron el módulo para carreteras convencionales con dos API específicas (Fry et al., 2003). En la primera se limita la velocidad en función del perfil longitudinal (pendiente) y ratio peso potencia, mientras que en la segunda se incluye la lógica de adelantamiento. Los valores de los parámetros se han tomado de los datos experimentales de Troutbeck (1982). El modelo desarrollado no ha sido aplicado aún a la evaluación de carreteras convencionales.

LASI es un modelo de microsimulación alemán desarrollado por la Universidad de Karlsruhe y mantenido por la Universidad de Weimar (Brilon y Weiser, 2006). Este programa no es comercial y se empleó para desarrollar el Manual de Capacidad alemán.

TWOSIM (TWO-lane, two-way SIMulator) es un modelo de microsimulación desarrollado en Matlab por Kim y Elefteriadou (2010) para el análisis de la capacidad de carreteras convencionales. El modelo se calibró a partir de datos de campo de dos carreteras convencionales en Pensilvania, EEUU, sin zonas de adelantamiento, y adoptó el modelo de adelantamiento de la AASHTO. Además, la velocidad de paso por curvas está controlada en función de la geometría, al igual que la transición recta-curva. Entre los datos de salida, se encuentra la velocidad media, la velocidad en flujo libre, el volumen simulado, el porcentaje de tiempo en cola y la densidad.

Dey et al. (2008) desarrollaron otro modelo de microsimulación en Matlab para estudiar la capacidad de carreteras convencionales con tráfico mixto y los factores de equivalencia de vehículos pesados. Dentro de los datos de entrada se encuentra el tipo de vehículo, la posición transversal en la vía, la asignación de velocidad deseada, la distancia de seguimiento y parámetros en las maniobras de adelantamiento. La validación del modelo se realizó con datos en una carretera convencional en India, con un volumen direccional de 500 veh/h.

Finalmente, Ghods y Saccomanno (2014) presentaron un nuevo modelo de microsimulación específico de carreteras convencionales: OTSIM (OverTaking SIMulation). La calibración del modelo se realizó a partir de la observación de maniobras de adelantamiento en una zona de adelantamiento en Italia en dos jornadas, con una intensidad bidireccional entre 430 y 530 veh/h. El modelo de adelantamiento se basa en el tiempo hasta la colisión final. Se compararon los resultados de OTSIM, TRARR y TWOPAS en un escenario para su validación, produciendo OTSIM las menores diferencias respecto a los datos de campo de Hegeman (2004).

### 3.5 Estudios de evaluación de la funcionalidad de tráfico

En esta Sección se indican los estudios más relevantes de evaluación de la funcionalidad de tráfico en carreteras convencionales. Se incluyen estudios experimentales, de microsimulación y encuestas de percepción subjetiva de usuarios.

#### 3.5.1 NCHRP 03-55 y NCHRP 20-07

La versión del Manual de Capacidad de 2000 se desarrolló a partir de los resultados del proyecto NCHRP 03-55, que se recogen en el informe de Harwood et al. (1999). El proyecto de investigación 'Capacity and Quality of Service of Two-Lane Highways' fue desarrollado por el Midwest Research Institute y la University of California-Berkeley y estaba financiado por el National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) del TRB. El análisis funcional se realizó en base a datos experimentales y microsimulación en TWOPAS.

La calibración de TWOPAS consideró datos experimentales recogidos en 20 localizaciones en Estados Unidos y 1 localización en Canadá. Las localizaciones se seleccionaron con variedad de volumen de tráfico direccional (entre 310 y 1920 veh/h), tipo de terreno, porcentaje de vehículos pesados, densidad de accesos y sección transversal. Los datos se recogieron mediante contadores automáticos para medir volumen, velocidad, longitud de vehículos e intervalos; pistolas láser, para determinar velocidad puntual; grabaciones de vídeo y observaciones directas. En total, se tomaron 540 h de datos con los sensores automáticos y 60 horas de vídeo.

Con los datos experimentales, se calibró una versión mejorada de TWOPAS, a través de la interfaz UCBRURAL. En una primera calibración, se emplearon 10 periodos de 15 minutos de datos procedentes de la carretera convencional CA02 en el área de San Francisco. El rango de intensidad total varió entre 960 y 3300 veh/h, con volumen direccional entre 344 y 1656 veh/h. La velocidad media y el porcentaje de vehículos en cola cuantificaron la bondad del ajuste. En la segunda calibración, se seleccionaron 10 periodos de 15 minutos de la carretera Trans Canada, en British Columbia; con un volumen direccional entre 100 y 570 veh/h; y volumen total entre 500 y 800 veh/h. Se emplearon las mismas medidas para la bondad del ajuste. Por otro lado, a pesar de que la calibración empleó datos de campo, no se emplearon maniobras de adelantamiento, por lo que se mantiene el comportamiento observado en los años setenta.

Para el ajuste de las medidas se emplearon 1000 simulaciones, con 10 volúmenes direccionales entre 100 y 1700 veh/h, 10 volúmenes opuestos, 2 velocidades en flujo libre y 5 semillas aleatorias. Para los coeficientes de ajuste en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido, se calculó la diferencia media entre el escenario base y con distintos *NPZ*, dado el flujo y velocidad en flujo libre. No existen indicaciones sobre la precisión del ajuste o la distribución de las zonas de adelantamiento empleada.

Las modificaciones introducidas en el Manual de Capacidad de 2010 se basan en las conclusiones del proyecto NCHRP 20-07 ('Two-Lane Road Analysis Methodology in the Highway Capacity Manual'), financiado también por el National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) del TRB. El proyecto fue desarrollado por el Midwest Research Institute, Texas A&M University y Pennsylvania State University (Harwood et al., 2003).

El proyecto NCHRP 20-07 da respuesta a dos aspectos identificados por los usuarios del Manual de Capacidad de 2000: la sobreestimación del porcentaje de tiempo en cola (*PTSF*) en el análisis direccional y la falta de metodología para carreteras en zonas moderadamente urbanizadas.

En el primer caso, se compararon los resultados aplicando la metodología bidireccional del Manual de Capacidad de 1997 y las metodologías bidireccionales y direccionales del Manual de Capacidad de 2000. Se emplearon 348 combinaciones de volumen total, reparto y porcentaje de zona de adelantamiento no permitido. Se concluyó que el *PTSF* del HCM1997 es un 3.8 % inferior que con la versión del 2000 y que los resultados del análisis direccional son un 11.4 % más elevados que con el análisis bidireccional del HCM2000. En base a los resultados, se propusieron modificaciones en los coeficientes *a*, *b* del *PTSF* en condiciones ideales, así como en los factores de ajuste del *PTSF* en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido.

En el segundo caso, se propuso la introducción de una nueva clase de carretera para zonas moderadamente urbanizadas, junto con la metodología de evaluación más adecuada.

### 3.5.2 Estudios en Montana

Con el fin de desarrollar medidas de desempeño que sean fáciles de medir en campo, Al-Kaisy y Karjala (2008) evaluaron y compararon 6 medidas de desempeño en 4 carreteras convencionales de Montana. Se consideraron las siguientes medidas:

- Velocidad media de recorrido (*ATS*).
- Velocidad media de recorrido de vehículos ligeros (*ATS<sub>pc</sub>*).
- Porcentaje de velocidad libre: ratio entre la velocidad media y la velocidad media de los vehículos que circulan con un intervalo superior a 8 segundos (*PFFS*).
- Porcentaje de velocidad libre de vehículos ligeros: ratio entre la velocidad media de vehículos ligeros y la velocidad media de los vehículos que circulan con un intervalo superior a 8 segundos (*PFFS<sub>pc</sub>*).
- Porcentaje de vehículos en cola: porcentaje de vehículos circulando con intervalo inferior a 3 segundos (*PF*).
- Densidad de vehículos en cola: número de vehículos en cola por unidad de longitud (*FD*).

El análisis de regresión direccional de todas las localizaciones en conjunto sólo proporcionó dos modelos de regresión estadísticamente significativos, con el nivel de confianza del 95 %: densidad de vehículos en cola y porcentaje de vehículos en cola. La distinción de vehículos ligeros mejoraba ligeramente el modelo, frente a las variables con todos los vehículos, aunque no eran modelos estadísticamente significativos. Los modelos ajustados, con coeficientes de correlación del 98 y 79 % se muestran en la Ecuación 3.42 y 3.43.



$$FD = 0,0104 V_d - 0,00022 V_o - 0,03057 HV + 0,005 P_{zna} + 0,1167 \sigma_{ffs} \quad (3.42)$$

$$PF = 0,0338 V_d - 0,00607 V_o - 0,16062 HV + 0,1089 P_{zna} + 2,1274 \sigma_{ffs} \quad (3.43)$$

Donde:

- $FD$ : densidad de vehículos en cola (veh/mi).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $HV$ : porcentaje de vehículos pesados (%).
- $P_{zna}$ : porcentaje de zonas de adelantamiento no permitido (%).
- $\sigma_{ffs}$ : desviación típica de la velocidad en flujo libre considerando 8 segundos (mi/h)
- $PF$ : porcentaje de vehículos en cola (%).

En base a los resultados, los autores recomendaron emplear la densidad de vehículos en cola como medida de desempeño, por su mayor correlación con las variables de tráfico.

La toma de datos se realizó con contadores de tráfico automáticos. La intensidad media diaria de las vías variaba entre 3600 y 11200 veh/h, con intensidad direccional observada entre 100 y 575 veh/h (Karjala, 2008). El porcentaje de adelantamiento no permitido se encontró entre el 5 y 51 %, habiéndose observado el mayor flujo de tráfico en el escenario con menor longitud de zona de adelantamiento permitido.

### 3.5.3 Estudios en Oregón

En Oregón se desarrolló un estudio similar al de Al-Kaisy y Karjala (2008), considerando las 6 mismas medidas de desempeño y calibrándolas a las condiciones observadas en 13 localizaciones en Oregón (Oregon Department of Transportation, 2010).

Los resultados indicaron que la densidad de vehículos en cola proporcionaba la mejor correlación con las medidas de tráfico, con un coeficiente de determinación del 84 %, siguiendo la Ecuación 3.44.

$$FD = -0,4823 + 0,006764 V_d - 0,006175 V_o + 0,000879 HV + 0,008097 P_{zna} + 0,24825 terreno \quad (3.44)$$

Donde:

- $FD$ : densidad de vehículos en cola (veh/mi).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $HV$ : porcentaje de vehículos pesados (%).
- $P_{zna}$ : porcentaje de zonas de adelantamiento no permitido (%).
- $terreno$ : 1 si es terreno llano y 2 si es terreno ondulado.

Además, los modelos se validaron con datos de otras 4 localizaciones adicionales, con buenos resultados. Por otro lado, también comprobaron que los modelos de Al-Kaisy y Karjala (2008) proporcionaban un mal ajuste para los datos de Oregón, principalmente porque no eran lineales.

Se emplearon contadores de tráfico automáticos y la recogida de datos se realizó durante dos días consecutivos. El porcentaje de adelantamiento no permitido varió desde 0 hasta 100 % y la intensidad media diaria de las carreteras de 850 a 8100 veh/día.

### 3.5.4 Estudios en Egipto

Otro estudio de campo similar se realizó en Egipto (Hashim y Abdel-Wahed, 2011), comparando las 6 medidas alternativas propuestas por Al-Kaisy y Karjala (2008) y el porcentaje de vehículos impedidos probabilístico de Al-Kaisy y Durbin (2008).

A partir de los datos experimentales, se calibraron las 7 medidas de desempeño seleccionadas. Los modelos de regresión que incluían todas las variables han sido estadísticamente significativos, excepto el porcentaje de velocidad libre para vehículos ligeros. Los coeficientes de determinación de los modelos fueron inferiores al 13 % en las variables relacionadas con la velocidad, si bien aumentaron para las variables de seguimiento, con un 22 % en el porcentaje de vehículos impedidos y un 30 % en el porcentaje de vehículos en cola. Al igual que en los anteriores estudios experimentales, la densidad de vehículos en cola proporcionaba la mejor correlación con las variables de tráfico, de un 75 % (Ecuación 3.45).

$$FD = -1,81 + 0,009311 V_d + 0,000779 V_o \quad (3.45)$$

Donde:

- $FD$ : densidad de vehículos en cola (veh/km).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).

Los datos se tomaron en 8 localizaciones en Egipto, con velocidad límite de 60 km/h. Los datos se agregaron en periodos de 5 minutos y se multiplicaron por 12 para su conversión en datos horarios. La intensidad máxima direccional varió entre 350 y 970 veh/h, con un reparto equilibrado. El porcentaje de vehículos pesados fue interior al 5 % en todas las localizaciones.

### 3.5.5 Estudios en España

Romana y López (1998) estimaron el porcentaje de vehículos en cola en carreteras de la Comunidad de Madrid con intensidades altas. Se tomaron 4 segundos como criterio para distinguir los vehículos en cola. La relación entre el porcentaje de vehículos en cola, la intensidad direccional y opuesta se muestra en la Ecuación 3.46, con coeficiente de correlación del 66 %.

$$PF_4 = 25,5411 + 0,0443 V_d + 0,0096 V_o \quad (3.46)$$

Donde:

- $PF_4$ : porcentaje de vehículos en cola considerando 4 segundos de intervalo (%).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).

Los datos de campo fueron también empleados para determinar la frecuencia de adelantamientos (Romana, 1999), descrita en la Sección 3.2.2.5 y para la propuesta de una metodología de evaluación del nivel de servicio en base a una velocidad umbral (Romana y Pérez, 2006).

Por otro lado, Romana y Núñez (2011) desarrollaron leyes intensidad-velocidad en carreteras convencionales de la Comunidad de Madrid. La toma de datos se realizó en tres carreteras convencionales de la Comunidad de Madrid (M-509, M-305, M-601), con un volumen de tráfico elevado en dos de ellas (IMD superior a 25000 veh/día) y terreno montañoso en la otra carretera. Los datos se recogieron con aforadores automáticos durante 5 días en las carreteras de mayor tráfico y durante 17 días en la carretera de montaña. Además, algunos se apoyaron con grabaciones de video para observar las condiciones de tráfico y adelantamientos. El rango de observación fue amplio, con intensidad direccional entre 0 y 1700 veh/h.

El modelo de regresión de mejor ajuste en cada localización observada es un polinomio de tercer grado, con un coeficiente de determinación entre 26 y 39 % en las carreteras en terreno llano y un ajuste inferior al 10 % en las carreteras en terreno montañoso. En las Ecuaciones 3.47 y 3.48 se muestran las funciones intensidad-velocidad de dos tramos (M509, s1 y M-305, s1).

$$ATS_{M-509} = -1 \times 10^{-8} V_d^3 + 2 \times 10^{-5} V_d^2 - 0,0197 V_d + 75,426 \quad (3.47)$$

$$ATS_{M-305} = 1 \times 10^{-8} V_d^3 - 2 \times 10^{-5} V_d^2 + 0,0027 V_d + 88,729 \quad (3.48)$$

Donde:

- $ATS$ : velocidad media en la dirección de análisis, en la M-509 y M-305 (km/h).
- $V_d$ : intensidad direccional (veh/h).

El término de tercer grado se consideró necesario para establecer la relación en velocidad libre con intensidad baja, inferior a 200 veh/h. Así, son curvas con forma en S. A partir de los resultados, no se recomienda la aplicación de la metodología del HCM 2010 en carreteras convencionales de Madrid, ya que ignora los fenómenos relacionados con el adelantamiento.

Finalmente, Castilla y Romana (2013) estudiaron la velocidad desarrollada por vehículos ligeros y pesados y su posición en la estructura de la cola. Mediante detectores de lazo de inducción electromagnética se tomaron datos de velocidad e intervalo en otras dos carreteras de la Comunidad de Madrid (M-501, M-607) durante 3 días. Las colas se clasificaron en función del número de vehículos que las formaban y se caracterizó su velocidad. Se distinguieron tres grupos de comportamiento: vehículos aislados, líderes de colas cortas y líderes de colas largas.

### 3.5.6 Otros

de Arazoza y Mcleod (1993) evaluaron el nivel de servicio en la carretera convencional US-1 en los Cayos de Florida. Seleccionaron 174 km de vía dividida en tres secciones de carretera convencional de dos carriles (129 km), carretera convencional multicarril (32 km) y carreteras urbanas (13 km). La metodología propuesta emplea la velocidad media de recorrido como medida de desempeño y combina las relaciones de velocidad del Manual de Capacidad de 1985 (Transportation Research Board, 1985) en los tres tipos de vía.

Dixon et al. (2002) evaluaron el porcentaje de tiempo en cola en carreteras de Idaho en base a simulaciones realizadas en TWOPAS. Para la calibración se emplearon datos experimentales de dos carreteras de Idaho, una de ellas incluyendo un tramo con tercer carril. Los resultados de 35 simulaciones en el escenario base indicaron que el Manual de Capacidad del 2000 (Transportation Research Board, 2000) sobreestima el porcentaje de tiempo en cola base, tanto en el análisis direccional como en el bidireccional. Además, las estimaciones de TWOPAS también diferían ampliamente de las observadas en campo.

En 2002, Washburn et al. (2002) adaptaron la metodología del HCM 2000 a la planificación de carreteras convencionales de dos o más carriles de Florida. La principal aportación de esta metodología es la introducción de una tercera clase de carretera convencional en las áreas con desarrollo urbano, co-

mo pequeñas poblaciones o viviendas aisladas. En estas carreteras se encontró que la mejor medida de desempeño era el porcentaje de velocidad libre.

Por otro lado, Kim y Elefteriadou (2010) estudiaron la capacidad de carreteras convencionales de dos carriles mediante TWOSIM (TWO-lane two-way highway SIMulator). La capacidad se determinó en base a 30 simulaciones de 5 minutos, con 10 minutos de calentamiento. En las condiciones base, no se permitía el adelantamiento y la capacidad base variaba entre 1835 y 2141 tur/h en función de la velocidad media en flujo libre. La presencia de zonas de adelantamiento no tiene efecto en la capacidad de la vía de estudio, mientras que la existencia de accesos tenía un impacto significativo en la capacidad (reducciones entre 12 y 26 %). Por otro lado, se varió la geometría en planta y en alzado incluyendo una curva aislada o una sección en rampa. Las curvas aisladas tenían efecto en la capacidad hasta un radio de 153 m, mientras que la pendiente de la rampa tenía una reducción signitiativa en la capacidad, entre el 11 y 40 %.

Shawky y Hashim (2010) también evaluaron la influencia de curvas aisladas en la funcionalidad del tráfico, tomando como medida de desempeño la densidad de vehículos en cola. El estudio analizó la diferencia en la densidad de vehículos en cola entre el inicio y final de 9 curvas en el Reino Unido, con radios entre 175 y 750 m. A partir de los resultados, concluyeron que las curvas con radio superior a 450 m no tenían impacto en la funcionalidad.

Finalmente, también se realizó un estudio de la capacidad de carreteras convencionales en la India (Chandra, 2004). Se tomaron datos en 40 secciones de carreteras convencionales, concluyendo que en la capacidad de las carreteras con flujo mixto influyen no sólo el nivel de tráfico, composición, sección transversal y pendiente, sino también el porcentaje de vehículos pesados y la regularidad superficial. En este sentido, se propusieron factores de ajuste de la capacidad ideal (3100 tur/h). En el caso de la regularidad superficial, la capacidad se reduce en 300 tur/h al reducir la irregularidad superficial en 1000 mm/km.

# Capítulo 4

## Objetivos

El objetivo de la Tesis Doctoral es la evaluación de la influencia de la localización y características de las zonas de adelantamiento en la funcionalidad del tráfico en carreteras convencionales.

Para ello se necesita modelizar el número de adelantamientos basado en datos de campo. Posteriormente, dichos datos se utilizarán para calibrar y validar un modelo de microsimulación del tráfico con el que generar distintos escenarios donde analizar la efectividad de las zonas de adelantamiento considerando sus longitudes y ubicaciones, volumen de tráfico y reparto del mismo.

Se definen los siguientes objetivos específicos:

- Actualizar el estado del arte.
- Diseñar una metodología de toma de datos experimentales para poder caracterizar la funcionalidad del tráfico y contabilizar el número de adelantamientos en diversas condiciones de tráfico y características de zonas de adelantamiento.
- Ejecutar el diseño experimental para la toma de datos de adelantamiento en condiciones naturalísticas.
- Analizar la efectividad de las zonas de adelantamiento y la funcionalidad del tráfico bajo las condiciones observadas.
- Calibrar un modelo de microsimulación con datos obtenidos en campo.
- Validar el modelo de microsimulación con datos adicionales obtenidos en campo.
- Generar diferentes escenarios variando la longitud de las zonas de adelantamiento y sus características y la demanda de tráfico.
- Analizar la frecuencia y ratio de adelantamientos en los escenarios generados, así como otras medidas de desempeño.
- Discutir los resultados con otras investigaciones y normativas.
- Proponer criterios técnicos tanto para la adecuada inclusión de zonas de adelantamiento en el diseño geométrico de carreteras convencionales como para la evaluación de la funcionalidad del tráfico.

Esta investigación busca profundizar el análisis del impacto de las zonas de adelantamiento en la funcionalidad del tráfico y así desarrollar criterios de diseño y señalización de las mismas. Además, se podrá proponer una metodología de evaluación de la funcionalidad de tráfico y modelos para la estimación del número de adelantamientos.



## Capítulo 5

# Hipótesis

En base a la revisión del Estado del Arte (Capítulo 3), se han establecido las hipótesis principales del estudio, que se corroborarán o rechararán en el desarrollo de la Tesis Doctoral.

En primer lugar, la frecuencia de adelantamientos aumentará en las zonas de adelantamiento al incrementar el volumen de tráfico en la carretera hasta un valor máximo, a partir del cual disminuirán al reducirse los huecos disponibles en el tráfico opuesto. No obstante, el aumento en el número de adelantamientos no será suficiente para que todos los vehículos en seguimiento puedan adelantar al vehículo que les precede, reduciendo la tasa de adelantamientos. Además, al aumentar la longitud de una zona de adelantamiento, la frecuencia de adelantamientos incrementa debido a que una mayor longitud de zona de adelantamiento posibilitará que más vehículos rápidos rebasen a un vehículo más lento, llegando a un punto en el que todos los seguidores adelantan y no hace falta mayor longitud de zona de adelantamiento.

En segundo lugar, la distribución de las zonas de adelantamiento en un segmento de carretera convencional tendrá efectos en su funcionalidad. Las configuraciones con zonas de adelantamiento con mayor longitud serán más funcionales que configuraciones con zonas más cortas, a igualdad de porcentaje de zona de adelantamiento no permitido. Además, una mayor concentración de zonas de adelantamiento al final del segmento mejorará el comportamiento direccional del tráfico en comparación con la configuración complementaria, ya que la zona con prohibición de adelantamiento permitirá formar colas que se disolverán en las zonas de adelantamiento.

En tercer lugar, las medidas de desempeño de tráfico en carreteras convencionales con mayor correlación con las variables de tráfico serán las relacionadas con el seguimiento, en lugar de las medidas relacionadas con la velocidad, como en los estudios de campo previos. El mejor ajuste se producirá en la densidad de vehículos en cola, ya que incluye el nivel de tráfico en su definición. Igualmente, las medidas desarrolladas a partir de la teoría de colas estimarán mejor funcionalidad que la observada y tendrán menor correlación con el tráfico, puesto que las hipótesis principales de su desarrollo no se cumplirían en campo.

Finalmente, la calibración del modelo de microsimulación con datos de campo reducirá el error medio en la estimación con respecto a los datos reales.





## Capítulo 6

# Alcance

En este Capítulo se determina el alcance de la Tesis Doctoral, definiendo las limitaciones previas a la investigación y estableciendo sus límites explícitos.

Las condiciones a las que se limita son las más habituales en las carreteras convencionales españolas:

- Carreteras con velocidad límite de 100 km/h.
- Terreno llano.
- Sinuosidad baja.
- Pavimento en buenas condiciones.
- Condiciones meteorológicas favorables.

En consecuencia, las conclusiones que se desprendan de la Tesis Doctoral serán únicamente aplicables en carreteras que cumplan las condiciones anteriores.



## Capítulo 7

# Metodología

La metodología para el desarrollo de la Tesis Doctoral se compone de una fase experimental, con toma de datos en distintas carreteras convencionales y una fase de calibración y validación de un modelo de microsimulación de tráfico.

En primer lugar, se procederá al desarrollo del diseño experimental que permita posteriormente una adecuada ejecución experimental. En él, se estudiará la red de carreteras incluyendo datos sobre el flujo de tráfico, composición del tráfico y zonas de adelantamiento permitido. Posteriormente, se tomarán datos con dos metodologías basadas en grabaciones de vídeos desde posiciones externas a la carretera. Con ambas metodologías, se caracterizará la maniobra de adelantamiento, con análisis de las variables de las que depende y con el estudio de la influencia de dichas variables en la funcionalidad del tráfico bajo las condiciones observadas.

A partir de los resultados de los datos observacionales, se determinará la efectividad de las zonas de adelantamiento en función de variables fundamentales, como la longitud de la zona de adelantamiento, el volumen de tráfico y su reparto o la velocidad del tráfico. Además, se obtendrá una caracterización de la funcionalidad del tráfico en carreteras convencionales, considerando el inicio de la zona de adelantamiento, y estudiando qué medidas de desempeño son las que mayor correlación tienen con las variables de tráfico.

Posteriormente, se calibrará y validará un modelo de microsimulación de tráfico para el análisis de la maniobra de adelantamiento en diferentes escenarios. Tras la selección de la carretera convencional para calibrar el modelo de microsimulación, se implementará el modelo en el microsimulador de tráfico. Se ejecutará la calibración con un módulo de algoritmos genéticos, que obtendrá el mejor ajuste de las características operacionales obtenidas con el modelo y las observadas a la realidad. La calibración se validará con más datos de campo, comprobando el error de estimación en escenarios distintos a los empleados en la calibración.

El modelo validado se aplicará a diferentes escenarios, variando la localización y características de las zonas de adelantamiento, el volumen de tráfico, su reparto y el porcentaje de pesados. Dichos escenarios se ejecutarán en TWOPAS con las mejores combinaciones de parámetros obtenidas en la calibración con varias semillas aleatorias. Con los resultados, se establecerán y cuantificarán las relaciones entre las características de las zonas de adelantamiento y la demanda de tráfico con la funcionalidad de una carretera convencional y con el número de adelantamientos producido.

Tras ello, se compararán los resultados obtenidos con las investigaciones previas. Por un lado, servirá como verificación de la adecuación de los modelos desarrollados y, por otro lado, se comprobará la transferibilidad de los resultados a condiciones distintas de las españolas.

A continuación, se propondrán las aplicaciones prácticas en base a los resultados obtenidos. En este sentido, se desarrollarán criterios técnicos para la adecuada inclusión de zonas de adelantamiento en el diseño geométrico de una carretera convencional, considerando la funcionalidad del tráfico.

Además, se propondrán valores de los estimadores para determinar la calidad de la operación del tráfico en una carretera convencional española, entre otras aplicaciones.

## Capítulo 8

# Estudio experimental

Para el adecuado análisis de la funcionalidad del tráfico, se tomaron datos experimentales en zonas de adelantamiento de carreteras convencionales. Los datos se tomaron cubriendo un considerable rango de volumen de tráfico y composición, al igual que características de las zonas de adelantamiento. El presente Capítulo se estructura en tres Secciones: 8.1 diseño experimental; 8.2 ejecución experimental y 8.3 reducción de datos.

### 8.1 Diseño experimental

Para poder calibrar adecuadamente el modelo de microsimulación era necesario tomar datos experimentales del comportamiento del tráfico en distintas zonas de adelantamiento. La metodología se basó en la observación naturalística de maniobras de adelantamiento, mediante grabaciones de video desde puntos fijos situados en el exterior de la vía. Para ello, se empleó el laboratorio móvil de tráfico del GIIC y cámaras de alta definición coordinadas.

Esta metodología de toma de datos ha sido empleada en la gran mayoría de estudios de la funcionalidad de tráfico (Gattis et al., 1997; Morrall y Werner, 1990; Kaub, 1990; Archilla y Morrall, 1996; Harwood et al., 1999; Romana, 1999; Hegeman, 2004; Hegeman, 2008; Harwood et al., 2010; Abdulmawjoud y Sofia, 2014; Mwesige et al., 2014a), si bien en algunos estudios se contaba únicamente con espiras electromagnéticas o láser que registraban el tiempo de paso de vehículos y su velocidad puntual (Luttinen, 2000; Botha et al., 1994; Al-Kaisy y Durbin, 2011; Al-Kaisy y Karjala, 2008; Oregon Department of Transportation, 2010; Bessa y Setti, 2011; Hashim y Abdel-Wahed, 2011). La observación de maniobras de adelantamiento desde puntos fijos externos a la vía permite obtener, además el número de adelantamientos en la zona. No obstante, la reducción de datos es más laboriosa que con una toma de datos mediante espiras electromagnéticas.

A continuación se desarrolla la descripción del equipamiento empleado y la selección de localizaciones.

#### 8.1.1 Descripción del equipamiento empleado

La metodología experimental se basa en la obtención de imágenes de vídeo de una zona de adelantamiento desde puntos fijos situados en el exterior de la carretera, para posteriormente extraer datos de las maniobras registradas y la funcionalidad del tráfico. El diseño experimental se diferencia de los estudios de campo anteriores por la utilización de un mayor número de cámaras de video, cubriendo el total de la zona de adelantamiento. Esta metodología permitió la obtención del tiempo de ocupación del carril opuesto y el tiempo hasta la colisión (Llorca y García, 2011).

El laboratorio móvil de tráfico está formado por una plataforma elevadora articulada con seis cámaras de video digitales instaladas en la canastilla superior. La principal aplicación de la plataforma es la

obtención de vídeos desde una posición elevada, para disponer de una mejor visibilidad sobre el área que se pretende grabar. El laboratorio móvil de tráfico ya había sido empleado en investigaciones previas realizadas por el GIIC (Figura 8.1).



**Figura 8.1:** Laboratorio móvil de tráfico

La plataforma se puede remolcar y estacionar en zonas adyacentes al tramo de carretera que se desea observar. Una vez elevada la canastilla, se ajusta la orientación, el zoom y el enfoque de cada una de las cámaras para poder obtener imágenes de una zona de adelantamiento permitido de gran longitud con calidad uniforme. Esta configuración, realizada in situ gracias a un ordenador portátil conectado a una red inalámbrica, trata de encuadrar en cada cámara una parte de la zona de adelantamiento. Esta técnica permite registrar zonas de adelantamiento de gran longitud, hasta 1200 m, o incluso dos zonas de longitudes más reducidas, situadas una a continuación de la otra.

Las cámaras de video instaladas en el laboratorio móvil de tráfico son Vivotek IP Exterior SD7151. Las cámaras tienen un movimiento vertical de 90 grados y movimiento horizontal de 360 grados. La tasa de imágenes es de 30 cuadros por segundo, con un zoom máximo de 18x y resolución VGA 640X480 píxeles. Las seis cámaras se instalan en la barandilla de la cesta de la plataforma elevadora (Figura 8.2).



**Figura 8.2:** Cámaras del laboratorio móvil de tráfico

La orientación y enfoque de las cámaras se controla desde un ordenador portátil. Las cámaras se encuentran conectadas con un router que genera una red inalámbrica, a la cual se accede desde el ordenador. En la red inalámbrica se accede a la página web con la dirección IP de cada cámara y se permite el control de las cámaras. Los vídeos se almacenan en el equipo de grabación Nuuo NVR mini. El equipo de grabación está formado por un conjunto de 4 discos duros de 1 Tb de capacidad cada uno y se encuentra conectado a las cámaras con el router. Desde la página web del propio sistema de grabación se escogen las cámaras que se desean grabar, la duración de la grabación y otros parámetros de la misma. Ambos sistemas se alimentan del generador eléctrico de la plataforma elevadora.

En la Figura 8.3 se muestra el programa específico de reproducción de vídeos del sistema. Con este programa, es posible ver simultáneamente las imágenes obtenidas con las distintas cámaras, así como ampliarlas o extraer capturas de las mismas.



**Figura 8.3:** Software de visualización del laboratorio móvil de tráfico

Alternativamente, se han empleado en las últimas tomas de datos dos cámaras de alta definición Sony HDR-CX190 coordinadas. La resolución de imagen fija es de 5.3 MP y tienen un zoom óptico de 25x y zoom digital de 300x. La cámara puede conectarse a una batería química, por lo que la duración de los vídeos está limitada por la tarjeta de memoria en lugar de por la duración de la batería. Las cámaras se colocan al inicio y al final de la zona de adelantamiento y se sincronizan, de tal forma que graban de forma coordinada los dos extremos del segmento. Esta metodología permite cubrir zonas de adelantamiento más largas con mayor nivel de detalle en sus extremos, y su montaje es más rápido que el laboratorio móvil de tráfico. No obstante, no permite la grabación de las maniobras individuales.

La disposición de las cámaras, con ambas metodologías, se muestra en la Figura 8.4. Como se puede observar, con la primera metodología se pueden visualizar todas las maniobras de adelantamiento, además de las condiciones del tráfico al inicio y final del segmento. No obstante, la precisión en los extremos es inferior que en el tramo central, al encontrarse con un mayor nivel de zoom. En cambio, con la segunda metodología se obtienen las condiciones de tráfico al inicio y final del segmento con gran precisión, si bien no es posible la observación directa de las maniobras de adelantamiento.

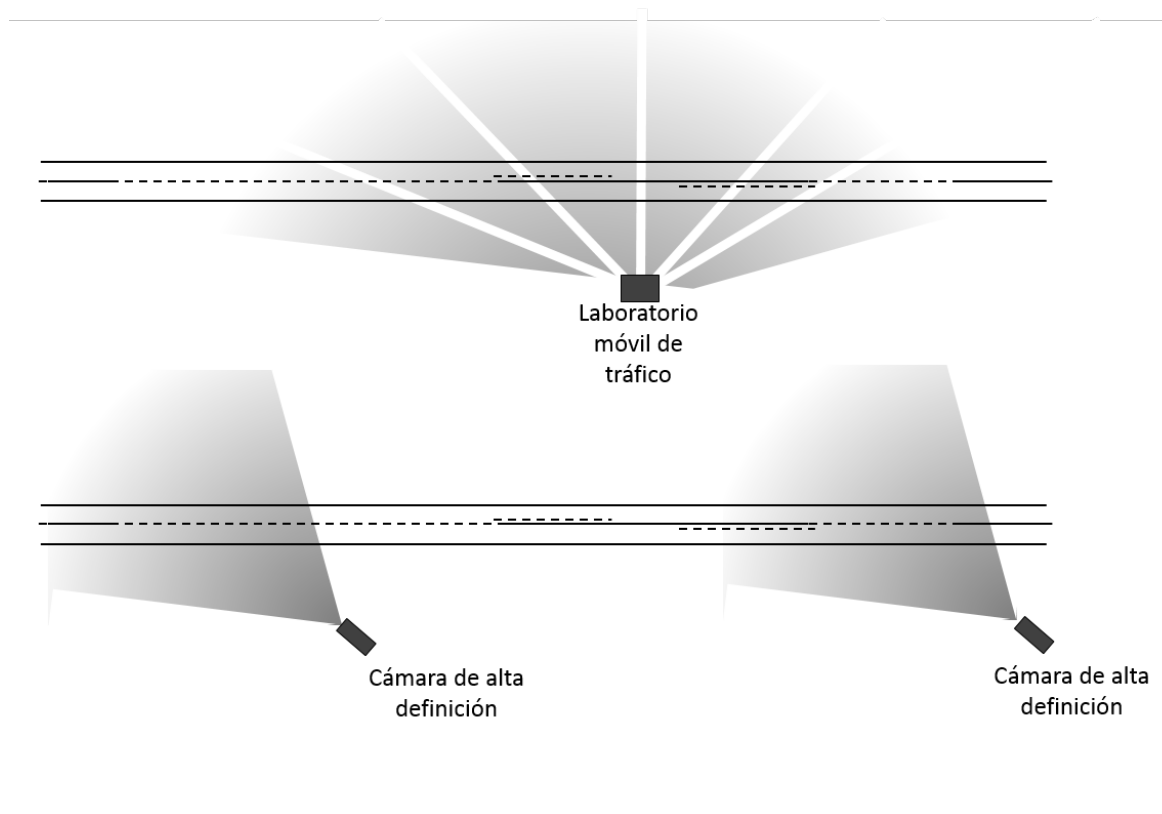


Figura 8.4: Esquema de la metodología de toma de datos

Paralelamente a la toma de datos realizada mediante la grabación de vídeos, se ha obtenido la distribución de velocidades de operación en cada una de las zonas de adelantamiento estudiadas. De esta manera, es posible determinar si la presencia del laboratorio móvil de tráfico influye en la velocidad de los vehículos y, en caso de hacerlo, cuantificar su efecto.

El equipo de medición de velocidades es un Speed System T100/T200 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.



El sistema de medición de velocidad se conecta directamente a una batería y a un ordenador portátil, que registra los datos de forma continua (Figura 8.5).



**Figura 8.5:** Láser de medición de velocidad

En el fichero de datos generado, es posible identificar, directamente, la velocidad, longitud e intervalo de cada uno de los vehículos. La longitud de los vehículos será el parámetro empleado para establecer una clasificación de los mismos en ligeros y pesados. Además, se disponía una cámara GoPro en la barra del sistema, con el fin de grabar la escena. De esta manera, era posible identificar posteriormente posibles errores de medición, como el cruzamiento de vehículos.

### 8.1.2 Selección de localizaciones

Tras la descripción de las metodologías de toma de datos, se llevó a cabo la selección de localizaciones. Para ello, se tomó como base el inventario de zonas de adelantamiento realizado en el proyecto de investigación PASSING.

En este punto es necesario distinguir entre zona de adelantamiento, segmento de carretera y tramo de carretera. En la base de datos, se denominó:

- Tramo de carretera: porción de carretera convencional con condiciones de tráfico homogéneas, estando limitada por intersecciones donde pueda variar significativamente el tráfico de la carretera.
- Segmento de carretera: porción de tramo de carretera con características geométricas homogéneas.
- Zona de adelantamiento: longitud de carretera situada entre señales consecutivas de fin de prohibición de adelantamiento y prohibición de adelantamiento.

Por tanto, dentro de un tramo se pueden encontrar varios segmentos de carretera con varias zonas de adelantamiento.

El ámbito del inventario de zonas de adelantamiento se limitó al entorno de Valencia, puesto que los equipos se encontraban en la UPV, y consideró los segmentos de carretera convencional pertenecientes a las tres administraciones de carreteras.

En el inventario se incluyó la intensidad de tráfico, las características geométricas y señalización de zonas de adelantamiento y siniestralidad.

Los campos del inventario incluían, al menos:

- Intensidad media diaria (veh/h).
- Porcentaje de vehículos pesados (%).
- Velocidad de proyecto, entendida como la velocidad de diseño de tramos de características uniformes y longitud superior a 2 km.
- Límite de velocidad señalado en la zona de adelantamiento.
- Tipo de sección transversal, caracterizada por el ancho de los carriles y la existencia y anchura de arcenes.
- Perfil longitudinal: rampas, pendientes y acuerdos verticales.
- Existencia (señalizada) de zonas de adelantamiento permitido, así como su ubicación a lo largo del tramo, en función de los perfiles de distancia de visibilidad disponible.
- Índice de accidentalidad: numero de accidentes por cada 100 millones de vehículos-kilómetro.
- Índice de peligrosidad: numero de accidentes con víctimas por cada 100 millones de vehículos-kilómetro.
- Índice de accidentalidad asociada al adelantamiento: índice de accidentalidad considerando únicamente aquellos accidentes asociados a la maniobra de adelantamiento.
- Índice de peligrosidad asociada al adelantamiento: índice de peligrosidad considerando únicamente aquellos accidentes asociados a la maniobra de adelantamiento.

La base de datos consideraba 105 segmentos de carretera, con una longitud total de 855 km, IMD promedio de 5641 veh/día y porcentaje de pesados medio del 8 %.

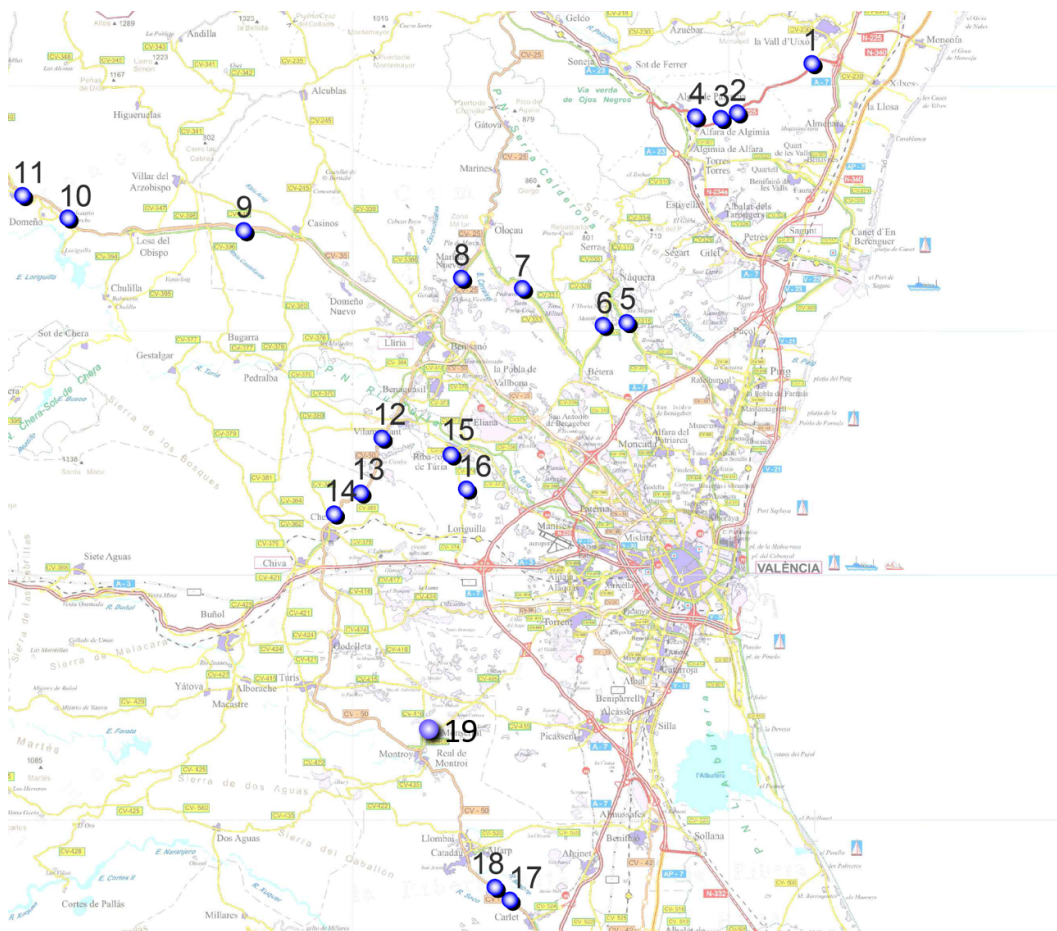
Para la selección de localizaciones, se consideraron los siguientes aspectos:

- Variabilidad existente en los parámetros más influyentes en la funcionalidad del tráfico en zonas de adelantamiento:
  - Volumen de tráfico.
  - Porcentaje de vehículos pesados.
  - Longitud de la zona de adelantamiento.
  - Velocidad de diseño y velocidad máxima permitida.
- Limitaciones técnicas y económicas de la toma de datos:
  - Existencia de terreno próximo a la vía para poder posicionar la plataforma, con anchura suficiente para permitir el paso de un vehículo, y con visibilidad de la zona de adelantamiento.
  - Distancia a la UPV, considerando la velocidad de circulación de 90 km/h del vehículo remolcando la plataforma y el tiempo necesario para el montaje y desmontaje de la plataforma.
- Tamaño mínimo de muestra de adelantamientos.

Considerando que la población de maniobras de adelantamiento se ajusta a una distribución normal, se realizó la estimación de la muestra necesaria de adelantamientos para que el error en el tiempo de

ocupación en el carril izquierdo fuera inferior al 5%. Asumiendo un tamaño de población elevado, un error admisible en valor absoluto del 5% y la desviación típica obtenida en pruebas de campo anteriores, la muestra mínima en cada localización es de 50 maniobras. En consecuencia, se buscaron localizaciones en las que el número estimado de maniobras fuera superior a 50 maniobras durante la grabación.

Las zonas de adelantamiento con características representativas de la maniobra de adelantamiento y la funcionalidad del tráfico que cumplen los condicionantes técnicos y estadísticos se muestran en la Figura 8.6.



**Figura 8.6:** Posibles zonas de adelantamiento donde realizar la ejecución experimental

Por otro lado, el número de localizaciones intentará abarcar el mayor número de variables. Sin embargo, tratar de abarcar un número demasiado elevado de variables obligaría a realizar un número excesivo de pruebas de campo y de maniobras, algo que queda limitado por disponibilidades de tiempo y de recursos del proyecto de investigación PASSING.

## 8.2 Ejecución experimental

Tras el diseño experimental, se seleccionaron las zonas de adelantamiento en las que llevar a cabo la toma de datos. El tiempo de observación total fue de 122 horas y 50 minutos. En dicho tiempo, se observaron más de 1,000 maniobras de adelantamiento, repartidas en 29 zonas de adelantamiento. En la Tabla 8.1 se resume la ejecución experimental.

El laboratorio móvil de tráfico se empleó entre las pruebas 1 y 9 (Figura 8.7), mientras que entre las pruebas 10 y 13 se utilizaron cámaras de vídeo de alta definición colocadas en los extremos de las zonas de adelantamiento (Figura 8.8).

Prueba	Nombre	P.K.	Fecha	Tiempo (h)	ZA*	Maniobras	$V_T$ (veh/h)**
1	CV-35 Casinos	44+500	16-02-10	4:05	2	120	180-305
2	CV-50 Vilamarxant	84+500	11-03-10	4:00	2	100	215-365
3	CV-50 Carlet	37+000	08-04-10	2:55	4	16	240-320
4	CV-50 Cheste	77+500	05-10-11	2:50	2	26	175-420
5	CV-37 Ribaroja	14+000	19-10-11	3:15	2	67	180-375
6	CV-25 Marines	5+000	19-10-11	3:00	2	83	310-1100
7	CV-35 Calles	64+000	09-11-11	5:55	2	20	100-150
8	N-225 Algar I	6+000	28-02-12	5:00	4	178	195-390
9	N-225 Algar II	6+000	28-02-12	2:00	4	45	120-280
10	N-225 Algar III	6+000	15-06-12	2:00	4	165	360-560
11	N-225 Algar IV	6+000	08-07-12	1:45	4	199	560-900
12	CV-405 Monserrat	11+500	17-12-12	2:00	2	93	515-990
13	CV-35 Losa del Obispo	48+650	20-12-12	3:00	7	236	250-450
<b>Total</b>				<b>122:50:00</b>	<b>29</b>	<b>1348</b>	<b>100-1100</b>

\*ZA: número de zonas de adelantamiento; \*\* $V_T$ : rango de intensidad horaria total

**Tabla 8.1:** Pruebas de toma de datos realizadas

La segunda metodología se ha empleado en aquellas zonas demasiado largas para poder ser grabadas con calidad suficiente por el laboratorio móvil de tráfico (prueba 13) y en los tramos donde se buscaba grabar la hora punta, de corta duración en comparación con el tiempo de preparación del laboratorio móvil de tráfico (pruebas 10-13). En la Tabla 8.2 se indican las características de las zonas observadas y el equipamiento empleado.

La mayoría de las pruebas tiene una intensidad de tráfico baja, inferior a 400 veh/h entre ambos sentidos de circulación, con el fin de maximizar el número de maniobras de adelantamiento. De esta forma, se podía alcanzar el objeto del proyecto de investigación PASSING: desarrollo de modelos de



**Figura 8.7:** Prueba de campo en la CV-50 con el laboratorio móvil de tráfico



**Figura 8.8:** Prueba de campo en la N-225 con cámaras de alta de definición

distancia de adelantamiento. Con mayor volumen de tráfico, las oportunidades de adelantamiento generadas en el carril opuesto se reducirían y la muestra sería menor.

No obstante, para el análisis de la funcionalidad del tráfico era necesario cubrir un mayor rango de intensidad de tráfico. Por tanto, se programaron 4 pruebas adicionales (pruebas 10-13), desarrolladas en hora punta.

Como se puede observar en la Tabla 8.1 y Tabla 8.2, la toma de datos ha cubierto un rango más amplio de intensidad de tráfico (entre 120 y 1100 veh/h) y longitud de la zona de adelantamiento (entre 250 y 1855 m).

Además de las grabaciones de vídeo, se realizaron campañas de medición de velocidad puntual en las zonas de adelantamiento (Tabla 8.3). No se han realizado en todas las zonas por limitaciones físicas, ya que no era posible colocar el medidor láser a la altura adecuada para el correcto registro de velocidad y en algunos casos la carretera está vallada y no es accesible a pie.

Prueba	IMD (veh/día)	% pesados	LZA (m)*	Equipamiento
1	5797	9	1265, 1130	LMT**
2	4517	8	600, 850	LMT
3	5091	6	265, 270, 230, 285	LMT
4	4517	8	755, 990	LMT
5	7775	5	550, 560	LMT
6	10267	2	1000, 1000	LMT
7	2366	4	540, 522	LMT
8-9	5925	15	265, 1270, 507, 1053	LMT
10-11	5925	15	265, 1270, 507, 1053	Cámaras HD
12	15342	4	890, 850	Cámaras HD
13	5797	9	776, 435, 1265, 1855, 810, 1133, 1690	Cámaras HD

\*LZA: longitud de las zonas de adelantamiento; \*\*LMT: laboratorio móvil de tráfico

**Tabla 8.2:** Características de las zonas observadas

Prueba	Nombre	Fecha
1	CV-50 Vilamarxant	13/01/2012
2	CV-50 Cheste	13/01/2012
3	CV-37 Ribaroja	18/09/2012
4	CV-25 Marines	18/09/2012
5	N-225 Algar	18/09/2012

**Tabla 8.3:** Pruebas de medición de velocidad

### 8.3 Reducción de datos

La reducción de datos consistió, por un lado, en el visionado de las grabaciones externas, y por otro lado en el procesamiento de los datos de salida del medidor de velocidad puntual.

La intensidad de tráfico observada en las primeras pruebas fue bastante inferior a la de las siguientes pruebas. Igualmente, la longitud de las zonas de adelantamiento se encontraba contenida entre las observadas en las pruebas 8-13. Por tanto, las primeras pruebas se destinaron a la validación del modelo del número de adelantamientos, y las siguientes pruebas se emplearon para el desarrollo del modelo del número de adelantamientos y los modelos de funcionalidad. En consecuencia, se establecieron dos niveles de detalle en la reducción de datos.

En la primera reducción de datos, realizada en las pruebas 1 a 7, se visionaron las grabaciones de las zonas de adelantamiento (Figura 8.9). Concretamente, se caracterizaron las siguientes variables para la validación de los modelos de adelantamientos:

- Intensidad direccional ( $V_d$ ): número de vehículos que entran en la zona de adelantamiento en el periodo.
- Composición del tráfico: porcentaje de vehículos pesados respecto del total de vehículos circulantes ( $HV$ ).
- Número de maniobras de adelantamiento ( $Ad$ ): número de maniobras de adelantamiento observadas en una zona de adelantamiento durante un determinado periodo de tiempo. El recuento de maniobras se ha realizado por observación directa de las videograbaciones, ya que estas cubrían la totalidad de la zona de adelantamiento.
- Porcentaje de vehículos en cola ( $PF$ ): porcentaje de vehículos que circulan en seguimiento respecto al total de vehículos. El intervalo que determina si un vehículo circula en seguimiento se ha basado en el establecido el HCM 2010, 3 segundos. La variable se obtuvo al principio y al final de la zona de adelantamiento.
- Ratio de adelantamientos ( $PR$ ): cociente entre el número de vehículos que adelantan y el número de vehículos que entran a la zona en seguimiento.

El periodo de análisis inicial ha sido de 5 minutos, si bien los datos se agregaron posteriormente en periodos deslizantes de 15 minutos, con saltos de 5 minutos. Así, por cada 60 minutos de grabación, se contaron con 10 periodos de 15 minutos.

En la segunda reducción de datos, realizada en las pruebas 8 a 13, se aumentó el número de variables de tráfico a estudiar. Además, el empleo de las cámaras de alta definición coordinadas varió la reducción de datos. En esta fase, se identificó manualmente el paso de cada vehículo por el inicio y el final de cada zona de adelantamiento. Posteriormente, se anotó el tiempo de paso por cada sección (Figura 8.10).

Con el fin de identificar los vehículos y así poder obtener el número de adelantamientos, el visionado de las grabaciones se realizó de forma coordinada en Kinovea. En las pruebas con cámaras coordinadas, no se contaba con el apoyo visual de toda la zona de adelantamiento, por lo que la identificación de los vehículos era fundamental para establecer el número de adelantamientos. Todo ello ha im-



Figura 8.9: Ejemplo de visualización de videos del laboratorio móvil de tráfico

pedido el reconocimiento de ambos sentidos de forma conjunta, por lo que se visionaron los vídeos para cada sentido de circulación.

En aquellas pruebas con zonas de adelantamiento contiguas se visionaban tres cámaras de forma simultánea (Figura 8.11).

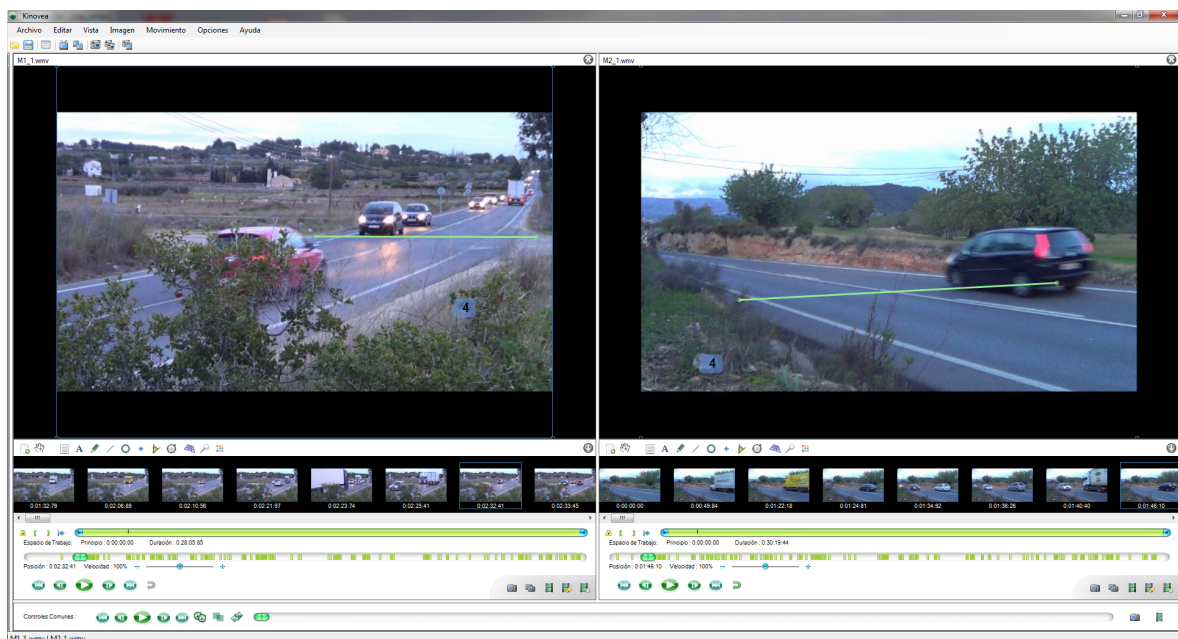


Figura 8.10: Ejemplo de identificación de vehículo en inicio y final de la zona de adelantamiento en la CV-405

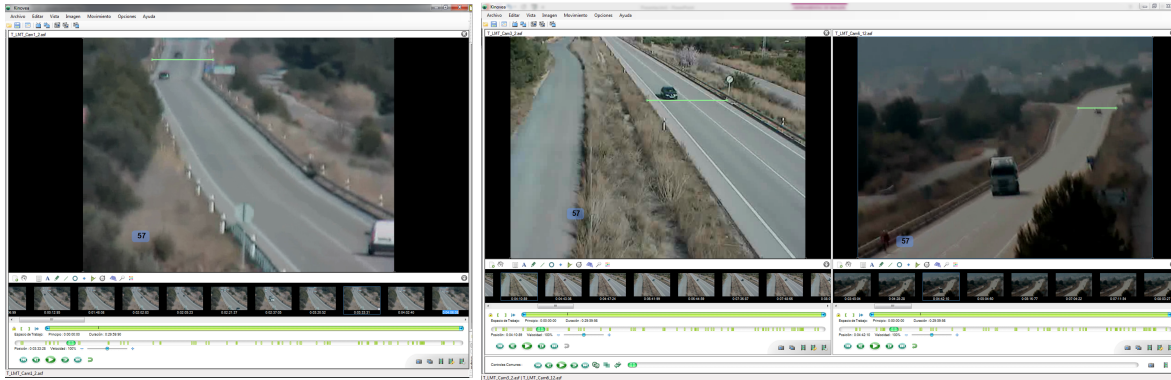


Figura 8.11: Ejemplo de identificación de vehículo en inicio y final de la zona de adelantamiento en la N-225

A partir de los tiempos de paso al principio y final de la zona de adelantamiento y la secuencia de vehículos identificados, se obtuvieron las siguientes variables:

- Intensidad direccional ( $V_d$ ): número de vehículos que entra en la sección.
- Composición del tráfico: además de la determinación del porcentaje de vehículos pesados, se distinguieron 5 segmentos de vehículos ligeros (utilitario, compacto, berlina, monovolumen, todoterreno) y 2 segmentos de vehículos pesados (camión rígido, camión articulado).
- Número de maniobras de adelantamiento ( $Ad$ ): El recuento de maniobras se ha realizado a través de la comparación de la secuencia de vehículos en el final y principio de la zona.
- Velocidad media de recorrido ( $ATS$ ): cociente entre la longitud de la zona y la diferencia individual de tiempo de paso al final y principio de la zona.
- Velocidad media de recorrido de vehículos ligeros ( $ATSp_c$ ): cociente entre la longitud de la zona y la diferencia individual de tiempo de paso al final y principio de la zona, contabilizando únicamente vehículos ligeros.
- Velocidad en flujo libre ( $FFS$ ): velocidad media de recorrido de los vehículos con intervalo superior a 8 segundos (Al-Kaisy y Karjala, 2008).
- Porcentaje de velocidad libre ( $PFFS$ ): cociente entre la velocidad media de recorrido y la velocidad en flujo libre.
- Porcentaje de velocidad libre de vehículos ligeros ( $PFFSp_c$ ): cociente entre la velocidad media de recorrido de vehículos ligeros y la velocidad en flujo libre.
- Porcentaje de vehículos en cola ( $PF$ ): porcentaje de vehículos con intervalo inferior a 3 segundos. La variable se obtuvo al principio y final de la zona de adelantamiento.
- Densidad de vehículos en cola ( $FD$ ): número de vehículos en cola por unidad de longitud. Se calcula como la multiplicación del porcentaje de vehículos en cola por la intensidad direccional, dividido por la velocidad media de recorrido.
- Porcentaje de vehículos impedidos ( $PI$ ): porcentaje de vehículos que circulan con velocidad inferior a la velocidad deseada. Se obtiene como la multiplicación del porcentaje de vehículos en cola, considerando intervalo de 6 segundos, y el percentil de la distribución de velocidad que corresponde con la velocidad media de los vehículos lentos (Al-Kaisy y Durbin, 2008).
- Longitud media de cola ( $APL$ ): número medio de vehículos en una cola, contabilizando el vehículo líder (Polus y Cohen, 2009). Las colas se determinan con el criterio de 3 segundos del HCM 2010.



- Intensidad de la circulación ( $\rho$ ): ratio entre el tiempo medio en la primera posición de la cola y el tiempo medio de llegada a la cola (Polus y Cohen, 2009). Se calcula con la Ecuación 8.1 a partir del número medio de intervalos en pelotones. Las colas se determinan con el criterio de 3 segundos del HCM 2010.
- Libertad de circulación ( $\eta$ ): ratio entre el tiempo medio de circulación entre colas y el tiempo entre la llegada a la primera posición de la cola y el adelantamiento (Polus y Cohen, 2009). Se calcula con la Ecuación 8.2 a partir del número medio de intervalos en pelotones y el número medio de intervalos entre pelotones. Las colas se determinan con el criterio de 3 segundos del HCM 2010.

$$\rho = 1 - \frac{1}{Q} \quad (8.1)$$

$$\eta = \frac{N}{\rho} \quad (8.2)$$

Donde:

- $\rho$ : intensidad de la circulación.
- $Q$ : número medio de intervalos dentro de pelotones.
- $\eta$ : libertad de la circulación.
- $N$ : número medio de intervalos entre pelotones.

Las características del tráfico se computaron en periodos de conteo de 5 minutos, que a su vez se agregaron en 15 minutos como la suma de tres periodos de conteo sucesivos. De esta forma, se reduce la probabilidad de identificar mal el periodo de 15 minutos más cargado en comparación de tomar periodos de 15 minutos consecutivos (Luttinen, 2002). Posteriormente, los datos de 15 minutos se convirtieron en datos horarios equivalentes.

Finalmente, se llevó a cabo la reducción de datos del medidor de velocidad láser. El láser proporciona una salida de datos en .txt que contiene el tiempo de paso, distancia al láser, velocidad y longitud del vehículo, entre otros. Con el apoyo del visionado del video, se distinguió el sentido de circulación del vehículo y se eliminaron vehículos anómalos, como bicicletas o vehículos agrarios. Además, se filtraron los datos anómalos originados por el cruce de vehículos exactamente en la posición del medidor láser. Una vez obtenidas las velocidades de todos los vehículos ligeros y pesados, por sentido de circulación, se definieron:

- Distribuciones de velocidad de operación, de todos los vehículos circulantes. En especial, se considera la velocidad media ( $V_m$ ).
- Distribuciones de velocidad de operación en flujo libre. Se trata de las velocidades de aquellos vehículos ligeros que circulan en flujo libre (sin seguir a otros vehículos más lentos).

Para determinar la posible influencia del laboratorio móvil de tráfico en la velocidad de los conductores, se compararon las distribuciones de velocidad provenientes del láser y los videos. La validación se realizó en la N-225, ya que es la única localización donde se realizaron medidas de velocidad que tuvo una reducción de datos detallada, incluyendo la velocidad media.

Con el láser, la velocidad media en flujo libre de vehículos ligeros fue de 98 km/h, con un percentil 85 de 112 km/h. Por su parte, la velocidad media de todos los vehículos fue de 90 km/h, situando el percentil 85 en 104 km/h. Las muestras fueron de 116 y 269 vehículos, respectivamente.

Estos valores son comparables con los obtenidos a partir del laboratorio móvil de tráfico y las diferencias no son estadísticamente significativas. En consecuencia, se valida la metodología de toma de datos.

Con el láser, la velocidad media en flujo libre de vehículos ligeros fue de 98 km/h, con un percentil 85 de 112 km/h. Por su parte, la velocidad media de todos los vehículos fue de 90 km/h, situando el percentil 85 en 104 km/h. Las muestras fueron de 116 y 269 vehículos, respectivamente.

Para comprobar si las distribuciones observadas con las cámaras y las medidas con el láser pueden pertenecer a la misma distribución, se realizaron cuatro test Mann-Whitney-Wilcoxon. El test se ha realizado para las velocidades en flujo libre de cada tipo de vehículo (ligero o pesado), en cada dirección de análisis. Los resultados se muestran en la Tabla 8.4.

Tipo de vehículo	Dirección	W	p-value
Ligero	Ascendente	13670	0.7318
Pesado	Ascendente	1477	0.0599
Ligero	Descendente	17522	0.06139
Pesado	Descendente	1471	0.05914

**Tabla 8.4:** Resumen del test Mann-Whitney-Wilcoxon de comparación entre la velocidad de las cámaras y el láser

Como se puede observar, el p-value de todas las pruebas es superior a 0.05, por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95 %. Por tanto, las diferencias no son estadísticamente significativas y se valida la metodología de toma de datos.

## Capítulo 9

# Funcionalidad de zonas de adelantamiento

En este Capítulo se analizan los resultados experimentales de las zonas de adelantamiento observadas. En la Sección 9.1 se muestra el análisis preliminar de los datos. En la Sección 9.2 se describe el análisis de la funcionalidad observada en carreteras convencionales, considerando la sección anterior a las zonas de adelantamiento. Finalmente, en la Sección 9.3 se analiza la efectividad de las zonas de adelantamiento, tanto en el número de adelantamientos como en la variación de las medidas de desempeño.

### 9.1 Análisis preliminar

Como se mencionó en la Sección 8.3, la intensidad de tráfico observada en las primeras pruebas fue bastante inferior a la de las siguientes pruebas. Igualmente, la variabilidad en longitud de zona de adelantamiento se encontraba contenida entre las observadas en las pruebas 8-13. Por tanto, las pruebas 1 a 7 se destinaron a la validación del modelo del número de adelantamientos, y las pruebas 8 a 13 se emplearon para el desarrollo del modelo del número de adelantamientos y los modelos de funcionalidad.

En primer lugar, se ha caracterizado la muestra con los estadísticos descriptivos básicos, con el fin de determinar el alcance de los resultados. En la Tabla 9.1 se indica para cada medida de desempeño: valor medio, desviación típica, mediana, valores extremos, coeficiente de asimetría y coeficiente de kurtosis.

Se han considerado las siguientes medidas de desempeño, ya definidas en el Capítulo 8:

- Medidas de desempeño antes de la zona de adelantamiento:
  - Velocidad media de recorrido, *ATS, Average Travel Speed* (km/h).
  - Velocidad media de recorrido de vehículos ligeros, *ATSpC, Average Travel Speed for Passenger Cars* (km/h).
  - Porcentaje de velocidad libre, *PFFS, Percent Free-Flow Speed*.
  - Porcentaje de velocidad libre de vehículos ligeros, *PFFSpC, Percent Free-Flow Speed for Passenger Cars*.
  - Porcentaje de tiempo en cola, *PTSF1, Percent Time Spent Following* (%).
  - Porcentaje de vehículos en cola, *PF1, Percent Followers* (%).

- Densidad de vehículos en cola, *FD1, Follower Density* (follower/h/km).
  - Porcentaje de vehículos impedidos, *PI1, Percent Impeded* (%).
  - Longitud media de cola, *APL1, Average Platoon Length* (veh).
  - Intensidad de la circulación,  $\rho1$ , *Traffic Intensity*.
  - Libertad de la circulación,  $\eta1$ , *Freedom of Flow*.
- Medidas de desempeño después de la zona de adelantamiento:
- Porcentaje de tiempo en cola, *PTSF2, Percent Time Spent Following* (%).
  - Porcentaje de vehículos en cola, *PF2, Percent Followers* (%).
  - Densidad de vehículos en cola, *FD2, Follower Density* (follower/h/km).
  - Porcentaje de vehículos impedidos, *PI2, Percent Impeded* (%).
  - Longitud media de cola, *APL2, Average Platoon Length* (veh).
  - Intensidad de la circulación,  $\rho2$ , *Traffic Intensity*.
  - Libertad de la circulación,  $\eta2$ , *Freedom of Flow*.
  - Número de adelantamientos, *Ad, Adelantamientos - Passing* (ad/15 min).
  - Ratio de adelantamientos, *PR, Passing Rate* (ad/fol).

	mean	sd	median	min	max	skew	kurtosis
ATS (km/h)	88.59	9.38	86.47	71.00	115.75	0.84	0.23
ATSpC (km/h)	90.13	10.17	88.37	70.82	120.00	0.79	0.27
PFFS (-)	0.99	0.04	0.99	0.84	1.15	0.01	1.89
PFFSpC (-)	1.00	0.03	1.00	0.89	1.12	-0.05	1.18
PF1 (%)	35.31	13.74	34.62	4.00	63.64	-0.02	-0.73
FD1 (foll/km)	0.25	0.22	0.16	0.01	1.12	1.38	1.57
PI1 (%)	23.19	10.02	21.67	2.40	45.81	0.21	-0.83
APL1 (veh)	2.72	0.54	2.60	2.00	5.00	1.05	1.28
$\rho1$ (-)	0.37	0.18	0.38	0.00	0.75	-0.29	-0.65
$\eta1$ (-)	551.51	2142.56	8.89	2.38	17333.33	4.65	23.57
PF2 (%)	31.11	14.03	31.11	0.00	61.74	0.04	-0.85
FD2 (foll/km)	0.23	0.21	0.14	0.00	1.00	1.48	1.80
PI2 (%)	20.51	9.90	19.60	0.00	44.25	0.24	-0.77
APL2 (veh)	2.67	0.54	2.57	1.00	4.93	0.95	1.26
$\rho2$ (-)	0.34	0.19	0.36	0.00	0.75	-0.32	-0.76
$\eta2$ (-)	1212.75	3672.03	10.15	0.00	26000.00	3.74	15.59
Ad (ad/15-min)	4.44	3.61	4.00	0.00	17.00	0.98	0.49
PR (ad/foll/15-min)	28.96	30.10	20.00	0.00	200.00	2.42	8.90

**Tabla 9.1:** Resumen de estadísticos básicos de la muestra observada

Los histogramas correspondientes a cada medida de desempeño se encuentran en la Sección C.1 del Anexo C.

La velocidad media de vehículos ligeros es muy similar a la distribución de todos los vehículos, con una diferencia de 1.5 km/h, aunque el valor máximo de la distribución de vehículos ligeros es 5 km/h superior. Por otro lado, las distribuciones del porcentaje de velocidad libre de toda la muestra y sólo vehículos ligeros también son muy similares, con igual media y forma de distribución. Existen ligeras diferencias entre las variables de desempeño antes y después de la zona de adelantamiento, si bien su distribución no varía significativamente.

Por su parte, el número de adelantamientos se distribuye como una binomial negativa, en lugar de una distribución normal, ya que se trata de una variable con números positivos enteros y distribución asimétrica.

Además, se ha analizado la posible influencia de las variables independientes en la distribución de las medidas de desempeño. Hay que considerar que el análisis se ha realizado individualmente para cada variable, por lo que se han excluido posibles interacciones entre las variables, enmascarando posiblemente el efecto real de la variable considerada.

El volumen direccional es la variable con mayor influencia en las medidas de desempeño, variando tanto el valor medio asociado a un rango de volumen direccional como la distribución de la variable. Igualmente, se observa una mayor concentración de intensidad direccional baja, inferior a 200 veh/h.

Por su parte, el porcentaje de vehículos pesados también produce variaciones en las distribuciones, principalmente en las distribuciones relacionadas con velocidad, aunque también modifica la distribución de la densidad de vehículos en cola y el porcentaje de vehículos impedidos. No obstante, el número de adelantamientos y el ratio de adelantamientos no parecen verse influidos significativamente por la variable.

Finalmente, el porcentaje de zonas de adelantamiento no permitido no parece influir en gran medida en las variables de velocidad, aunque sí en las variables de seguimiento desarrolladas a partir de la teoría de colas, como la longitud media de cola, la intensidad de la circulación y la libertad de circulación.

## 9.2 Análisis funcional antes de las zonas de adelantamiento

Tras el análisis preliminar, se han desarrollado los modelos de cada medida de desempeño, antes de las zonas de adelantamiento. Para cada medida de desempeño, se ha seguido el proceso siguiente:

- Propuesta de modelos funcionales.
- Ejecución de los modelos, con todas las combinaciones de variables independientes, y obtención de sus estadísticos básicos.
- Selección del modelo funcional y la combinación de variables óptima, en función del AIC (Akaike Information Criteria), de la correlación de los datos y las predicciones y del número de variables independientes.
- Comparación de las medidas de desempeño.

### 9.2.1 Modelización de la funcionalidad en carreteras convencionales

Así, en primer lugar se han propuesto los modelos funcionales de cada medida de desempeño. En la revisión del Estado del Arte (Capítulo 3) se ha observado que la mayoría de investigaciones proponen relaciones lineales entre las variables de desempeño y el volumen direccional (Al-Kaisy y Karjala, 2008; Oregon Department of Transportation, 2010; Hashim y Abdel-Wahed, 2011). En el caso del porcentaje de vehículos en cola, otros autores proponen relaciones logarítmicas (Luttinen, 2000). Por tanto, se ha comprobado la relación lineal existente entre las variables de desempeño y las variables independientes, en la escala natural y logarítmica.

Se ha considerado el volumen direccional y volumen opuesto tanto en su escala natural (modelo 1) como en la escala logarítmica (modelo 2). Para determinar qué variables son más significativas en cada modelo, se han ejecutado en el programa estadístico R las 16 de las 32 posibles combinaciones de variables que incluyen el volumen direccional. Se han empleado modelos lineales ordinarios y se ha comprobado la normalidad en la distribución de los residuos. El método para ajustar el modelo ha sido la iteración de errores cuadráticos ponderados.

Las tablas resumen se encuentran en la Sección C.2 del Anexo C. En ellas se han ordenado los modelos estudiados en función de su AIC (Akaike Information Criteria), que permite la comparación entre modelos alternativos. El AIC depende del número de parámetros y del número de observaciones, luego el AIC no es recomendable emplearlo para comparar modelos en los que difiera mucho el número de observaciones. Cuanto menor es el AIC, mejor es el modelo. Entre los estadísticos estudiados se encuentra el propio AIC, la diferencia de AIC respecto al mínimo AIC, el pseudo  $R^2$  y la correlación entre las estimaciones del modelo y los datos. También se han incluido el p-value y el beta de los coeficientes. El pseudo  $R^2$  se calcula a partir de la varianza residual y la varianza del modelo (Ecuación 9.1).

$$R^2 = 1 - \frac{dev.res}{null.dev} \quad (9.1)$$

Donde:

- $R^2$ : pseudo  $R^2$ .
- $dev.res$ : varianza residual.
- $null.dev$ : varianza del modelo.

Un modelo proporcionará una mejor estimación cuanto menor sea su indicador AIC y mayor sea la correlación entre las estimaciones del modelo y los datos iniciales. Además, todos los coeficientes deberán presentar un p-value inferior al 5 %, para que sean significativos, y su beta asociado deberá ser significativo. El beta del coeficiente indica la variación producida en la variable respuesta por la variación en una unidad del coeficiente.

A partir del análisis de las tablas resumen, se han seleccionado los modelos más adecuados para cada medida de desempeño en función del número de variables del modelo y la mejora que se produce en el AIC. En la mayoría de medidas de desempeño, la escala logarítmica del volumen producía mejores resultados, por lo que se ha seleccionado dicha escala. No obstante, en la velocidad media, velocidad media de vehículos ligeros y densidad de vehículos en cola, los modelos lineales en escala natural minimizaban el AIC.

Destacar también que, en la mayoría de medidas de desempeño, el volumen direccional opuesto producía un aumento de la predicción inferior al 1 %, excepto en la velocidad media donde el aumento era del 2 %. No obstante, existe una correlación entre el volumen direccional y el opuesto, del 63 %. Al no producir mejoras significativas y tener una correlación con el volumen direccional, no se ha considerado como variable independiente.

Por otro lado, el porcentaje de pesados es estadísticamente significativo sólo en las medidas relacionadas con la velocidad ( $ATS$ ,  $ATSp_c$ ,  $PFFS$ ,  $PFFSp_c$ ), mientras que el porcentaje de zonas de adelantamiento no permitido es significativo en la predicción de la velocidad media, velocidad media de vehículos ligeros y las medidas de seguimiento derivadas de la teoría de colas: longitud media de cola, intensidad de la circulación y libertad de circulación.

Los modelos seleccionados se resumen en la Tabla 9.2. Las tablas con el resumen estadístico se encuentran en la Sección C.3.

Donde:

- $ATS_{100}$ : velocidad media de recorrido en vías con límite de velocidad de 100 km/h (km/h).
- $ATS_{80}$ : velocidad media de recorrido en vías con límite de velocidad de 80 km/h (km/h).
- $ATSp_{c100}$ : velocidad media de recorrido de vehículos ligeros en vías con límite de velocidad de 100 km/h (km/h).

Variable	Ecuación	$R^2$ (%)
$ATS_{100}$	$ATS_{100} = 159,1 - 0,038 V_d - 0,334 HV - 0,975 P_{zna}$	45.2
$ATS_{80}$	$ATS_{80} = 77,7 - 0,006 V_d + 0,106 HV$	5.5
$ATSp_{c100}$	$ATSp_{c100} = 163,3 - 0,046 V_d - 0,293 HV - 1,00 P_{zna}$	43.0
$ATSp_{c80}$	$ATSp_{c80} = 77,8 - 0,0073 \ln(V_d) + 0,148 HV$	7.0
$PFFS$	$PFFS = 1,060 - 0,0002 \ln(V_d) - 0,0018 HV$	16.94
$PFFSp_{c}$	$PFFSp_{c} = 1,025 - 0,0001 \ln(V_d) + 0,0006 HV$	35.4
$PF1$	$PF1 = -60,6933 + 24,4293 \ln(V_d)$	61.2
$FD1$	$FD1 = -0,183 + 0,0019 V_d$	87.2
$PI1$	$FD1 = -68,94 + 1,737 \ln(V_d)$	57.6
$APL1$	$\frac{1}{APL1} = 0,792 - 0,093 \ln(V_d) + 0,0015 P_{zna}$	35.73
$\rho1$	$\rho = -0,720 + 0,243 \ln(V_d) - 0,0035 P_{zna}$	34.2
$\eta1$	$frac1\eta = -0,562 + 0,152 \ln(V_d) - 0,002 P_{zna}$	50.8

**Tabla 9.2:** Resumen de modelos de regresión antes de la zona de adelantamiento

- $ATSp_{c80}$ : velocidad media de recorrido de vehículos ligeros en vías con límite de velocidad de 80 km/h (km/h).
- $PFFS$ : porcentaje de velocidad libre.
- $PFFSp_{c}$ : porcentaje de velocidad libre de vehículos ligeros.
- $PF1$ : porcentaje de vehículos en cola (%).
- $FD1$ : densidad de vehículos en cola (veh/km).
- $PI1$ : porcentaje de vehículos impedidos (%).
- $APL1$ : longitud media de cola (veh).
- $\rho$ : intensidad de la circulación.
- $\eta$ : libertad de circulación.
- $V_d$ : intensidad direccional en el sentido de análisis (veh/h).
- $V_o$ : intensidad direccional en el sentido opuesto (veh/h).
- $HV$ : porcentaje de vehículos pesados (%).
- $P_{zna}$ : porcentaje de zonas de adelantamiento no permitido (%).

Además, se han representado los valores de campo y los valores estimados con el modelo, considerando los datos brutos de campo como valores de entrada al modelo. La velocidad media no produce una tendencia clara en función del volumen direccional y depende considerablemente del porcentaje de vehículos pesados y el porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (Figura 9.1). La tendencia es similar en la velocidad media con vehículos ligeros. Por otro lado, el porcentaje de velocidad libre tiene una gran dispersión, lo cual se ve reflejado en el coeficiente de determinación.

El porcentaje de vehículos en cola tiene forma logarítmica con la intensidad direccional, al igual que el porcentaje de vehículos impedidos (Figura 9.2). El ajuste del porcentaje de vehículos impedidos es muy bajo en la CV-405, donde la velocidad límite difiere y la distribución de velocidad de vehículos rápidos y lentos varía. En esta carretera, las diferencias entre ambos grupos de vehículos son menores, reduciendo el percentil de la distribución de vehículos rápidos con igual velocidad que la velocidad media de los vehículos lentos y, por tanto, reduciendo el porcentaje de vehículos impedidos.

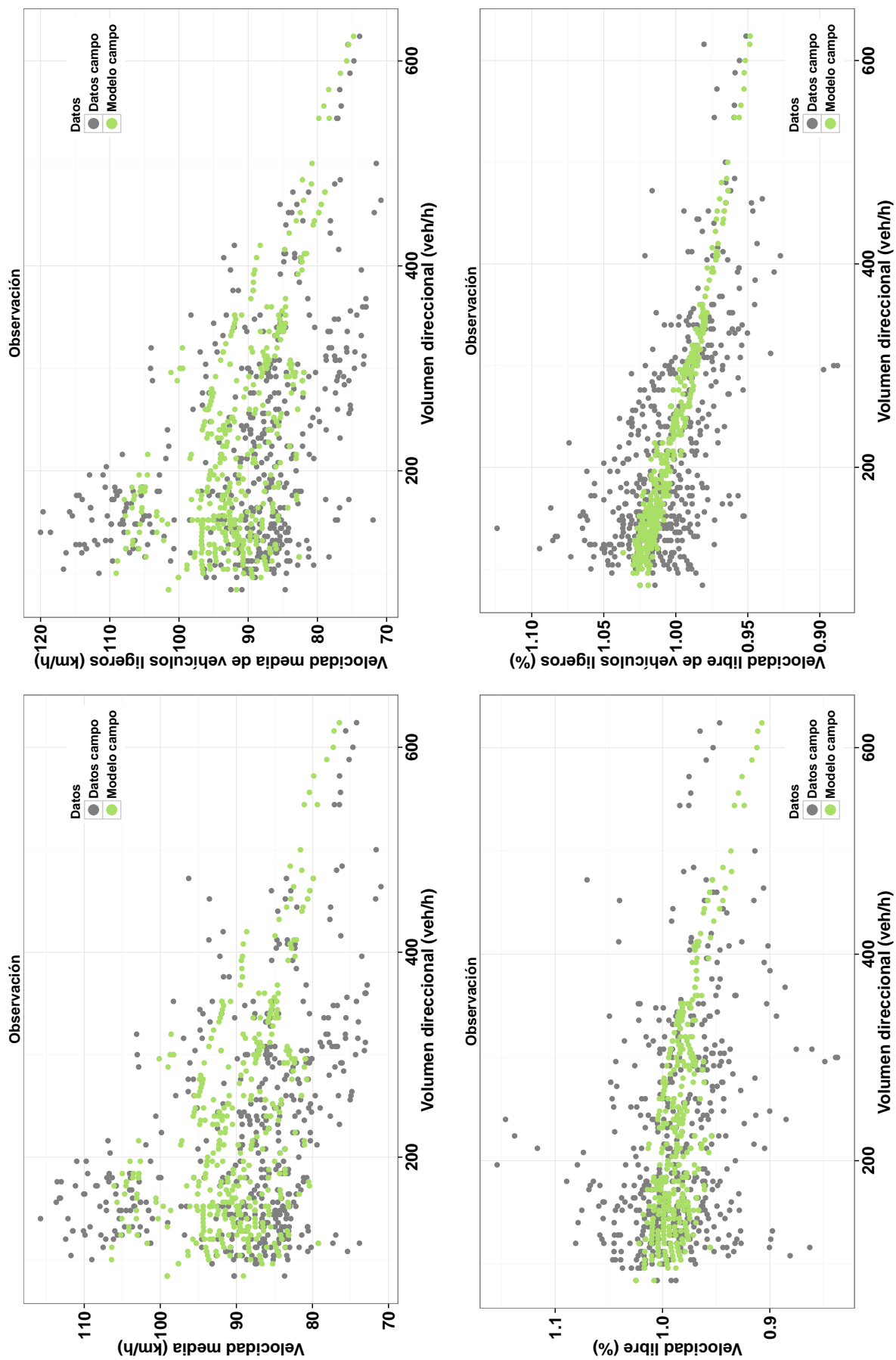


Figura 9.1: Ajuste de los modelos en las variables de velocidad



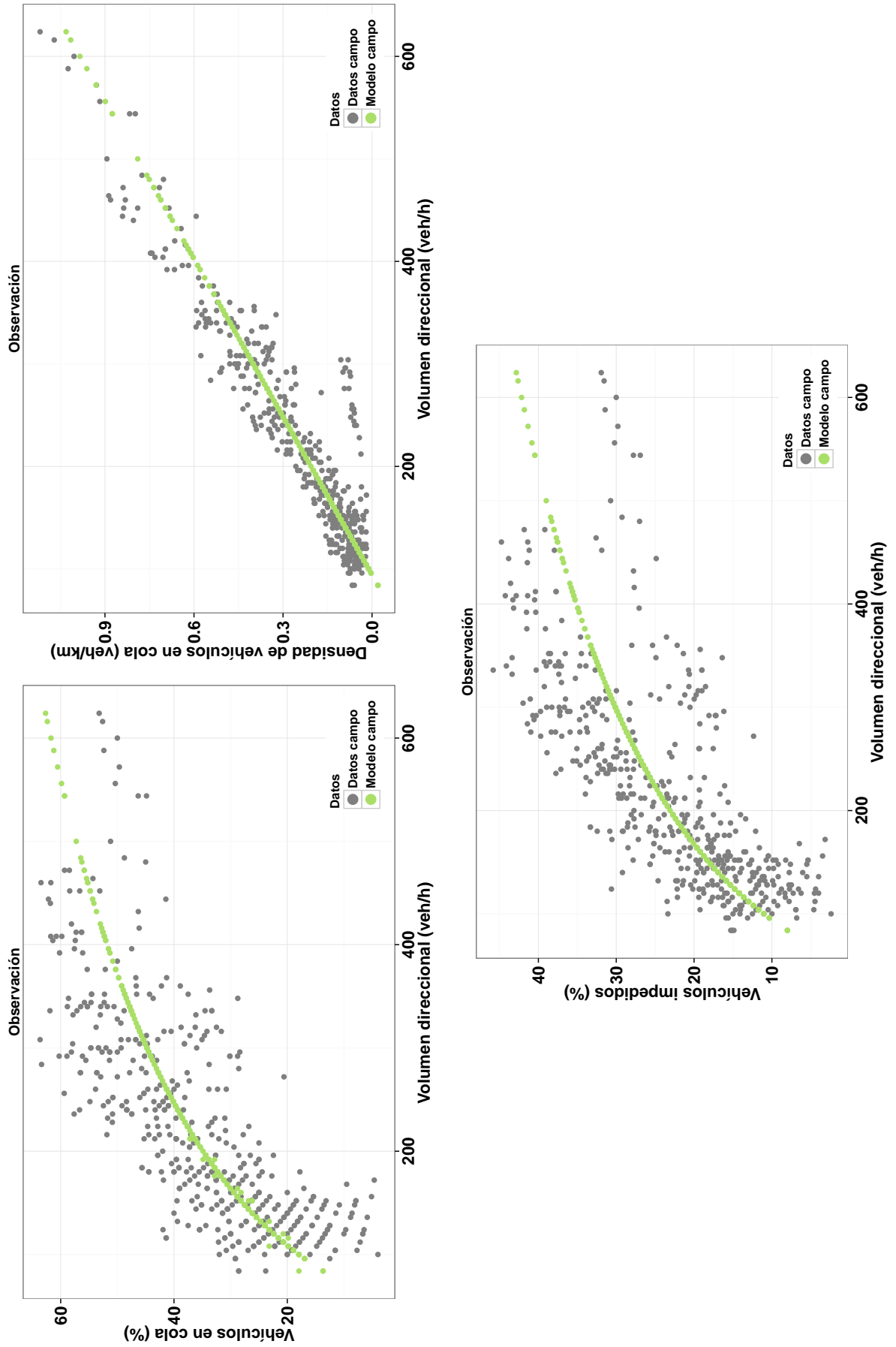


Figura 9.2: Ajuste de los modelos en las variables de seguimiento (I)

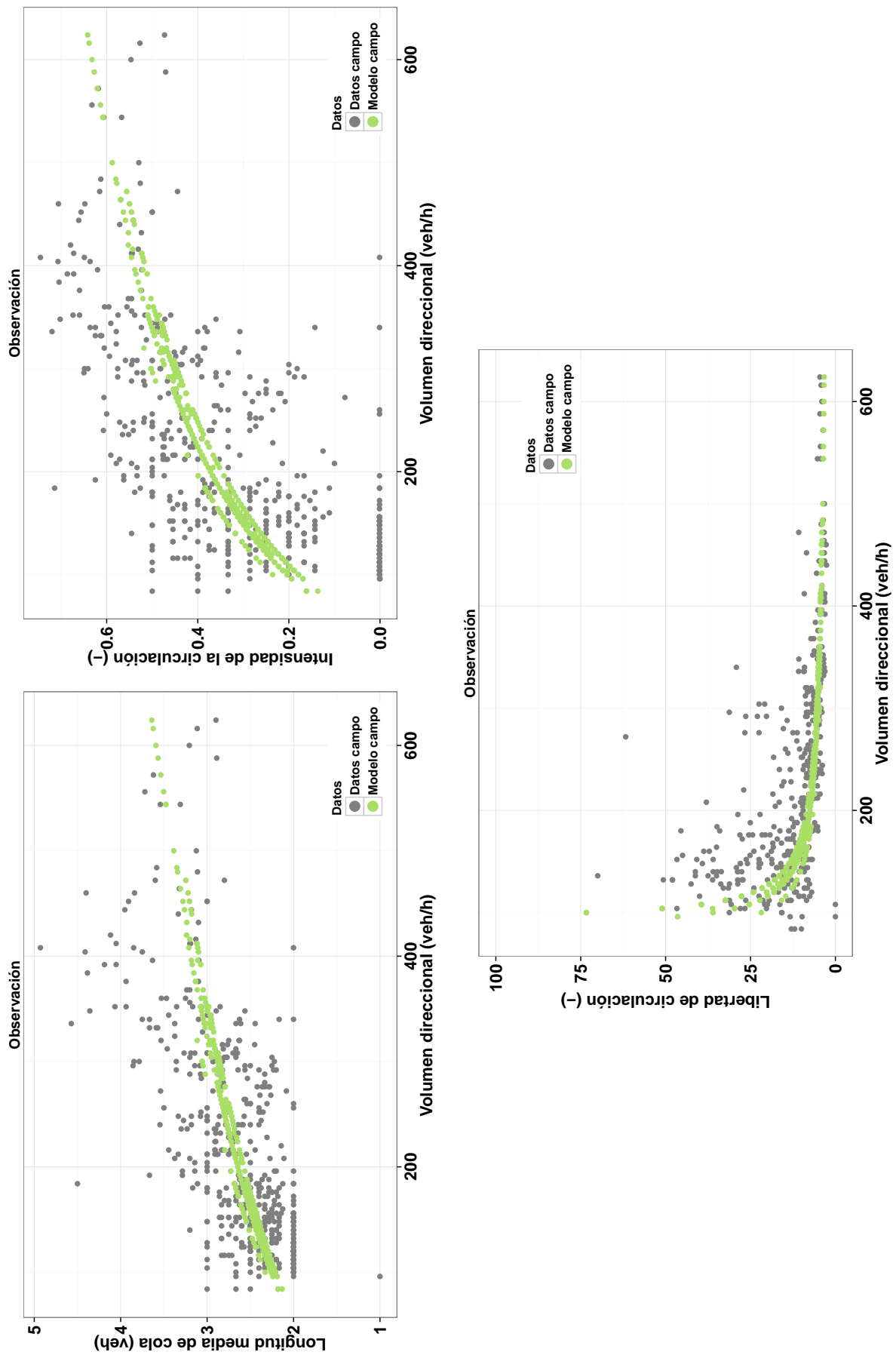


Figura 9.3: Ajuste de los modelos en las variables de seguimiento (II)

La densidad de vehículos en cola, por su parte, aumenta con el flujo direccional linealmente, con una elevada correlación. En la Figura 9.2 se puede observar la gran correlación con el tráfico direccional, y cómo el peor ajuste se produce en algunos escenarios de tráfico medio, entre 200 y 300 veh/h. En ellos, la densidad de vehículos en cola es considerablemente inferior a la estimada en el modelo y la observada en otros escenarios de igual tráfico. Se han analizado dichos escenarios y corresponden con la zona corta de la N-225, situada tras una zona de adelantamiento muy larga (1270 m). En consecuencia, el porcentaje de vehículos en cola es inferior al esperable en el comienzo de una zona de adelantamiento aislada, y, por tanto, la densidad de vehículos en cola es inferior. No obstante, no se observa ese descenso tan acusado en el porcentaje de vehículos en cola, para el mismo rango de intensidad, lo cual indica también un aumento de la velocidad media tras la zona de adelantamiento larga.

Finalmente, se han comparado las medidas de seguimiento de Polus y Cohen (2009). Estas medidas presentan mayor dispersión que las anteriores.

### 9.2.2 Comparación entre medidas de desempeño

Tras la modelización de las medidas de desempeño, se han comparado las mismas para determinar cuál es la que presenta mayor correlación con las variables de tráfico.

La densidad de vehículos en cola presenta el mejor ajuste con las variables de tráfico, con un coeficiente de determinación del 87 %, al igual que en los estudios de campo anteriores.

El siguiente mejor grupo de medidas de desempeño es el porcentaje de vehículos en cola y el porcentaje de vehículos impedidos, con coeficientes de determinación del 61 % y 57 %, respectivamente. Se ha comprobado que el porcentaje de vehículos impedidos no mejora la estimación respecto al porcentaje de vehículos en cola. Esta medida supone que los vehículos lentos son los líderes de cola, aunque puede que una cola esté liderada por un vehículo rápido seguido de otro vehículo rápido que circula cerca de su velocidad deseada. Además, los vehículos rápidos son aquellos que se encuentran fuera de las colas, y puede que un vehículo pesado circulando solo se identifique como vehículo rápido. Estas dos hipótesis pueden influir en la precisión de los resultados. Las probabilidades de circular impedido variaron entre 33 y 83 %, con un valor medio del 67 %. Los modelos no dependen del tráfico en sentido opuesto.

El tercer grupo de medidas se compone de las medidas derivadas de la teoría de colas. El menor coeficiente de determinación, entre 34 y 50 %, puede deberse a que las hipótesis en las que se basan los modelos teóricos no se cumplen en campo. Por ejemplo, el 22 % de los adelantamientos era múltiple, y no todos los vehículos con posibilidad de adelantar realizaban la maniobra. En la Figura 9.3 se muestra la intensidad del tráfico en función del tráfico direccional, con una forma similar al del porcentaje de vehículos en cola pero mayor dispersión en los resultados. También se observa la libertad del tráfico en función del tráfico direccional. En volúmenes de tráfico bajos, existe una mayor variabilidad y los valores pueden estar cercanos a infinito. Es más, un 7 % de la muestra tuvo que ser eliminado de la muestra porque realizaba una división por cero.

Los modelos con menor coeficiente de determinación corresponden con los relacionados con la velocidad, con coeficientes de correlación entre 5 y 7 % en carreteras con velocidad límite de 80 km/h, si bien aumentan considerablemente en carreteras con velocidad límite de 100 km/h, donde el coeficiente de correlación se sitúa entre el 43 y 45 %. La escasa correlación en carreteras con velocidad límite de 80 km/h se puede deber a que el rango de flujo observado no varió significativamente. Finalmente, el porcentaje de velocidad libre es el que produce peores resultados, con coeficientes de correlación del 16 %. Generalmente, emplear únicamente vehículos ligeros mejora la correlación.

### 9.3 Análisis de la efectividad de las zonas de adelantamiento

Con el fin de obtener la efectividad de las zonas de adelantamiento se ha modelizado el número de adelantamientos, el ratio de adelantamientos y las diferencias en las medidas de desempeño al principio y final de la zona de adelantamiento. Debido a que la velocidad media de recorrido se ha calculado a lo largo de la zona de adelantamiento, no es posible comparar el efecto de la zona de adelantamiento en esta variable. Por tanto, únicamente se han considerado las seis variables de seguimiento.

#### 9.3.1 Medidas de desempeño

El procedimiento de análisis es similar al desarrollado en la Sección 9.2. En primer lugar, se han calculado las diferencias en las medidas de desempeño de seguimiento y se han representado gráficamente en función de la intensidad direccional y la longitud de zona de adelantamiento. La longitud de zona de adelantamiento se ha agrupado en cuatro categorías, con muestra similar:

- Zonas cortas: longitud inferior a 500 m.
- Zonas medias: longitud entre 500 y 1000 m.
- Zonas largas: longitud entre 1000 y 1500 m.
- Zonas muy largas: longitud superior a 1500 m.

No existen diferencias significativas en las medidas de desempeño en función de la longitud de zona de adelantamiento, a pesar de apreciarse una tendencia a reducir el seguimiento si aumenta la longitud de la zona de adelantamiento, tanto en el porcentaje de vehículos en cola (Figura 9.4) como en la densidad de vehículos en cola (Figura 9.5).

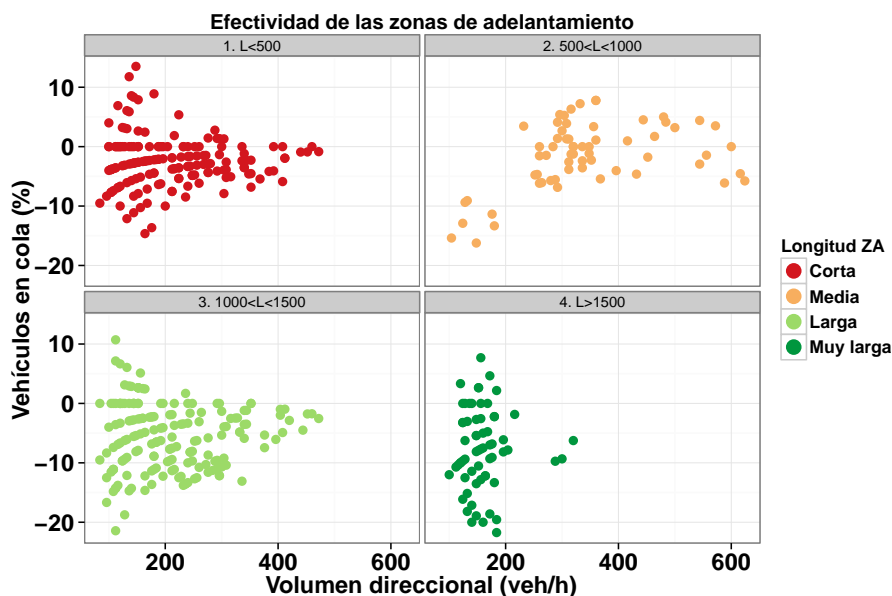


Figura 9.4: Diferencia en el porcentaje de vehículos en cola antes y después de la zona de adelantamiento

Las restantes Figuras se encuentran en la Sección C.1 del Anexo C. Los resultados son similares al del porcentaje de vehículos y la densidad de vehículos en cola.

Por tanto, se puede determinar que la diferencia en las medidas de desempeño antes y después de la zona no es estadísticamente significativa, aunque existe una tendencia de mejora al aumentar la longitud de la zona de adelantamiento. En consecuencia, no se van a desarrollar modelos de ajuste para

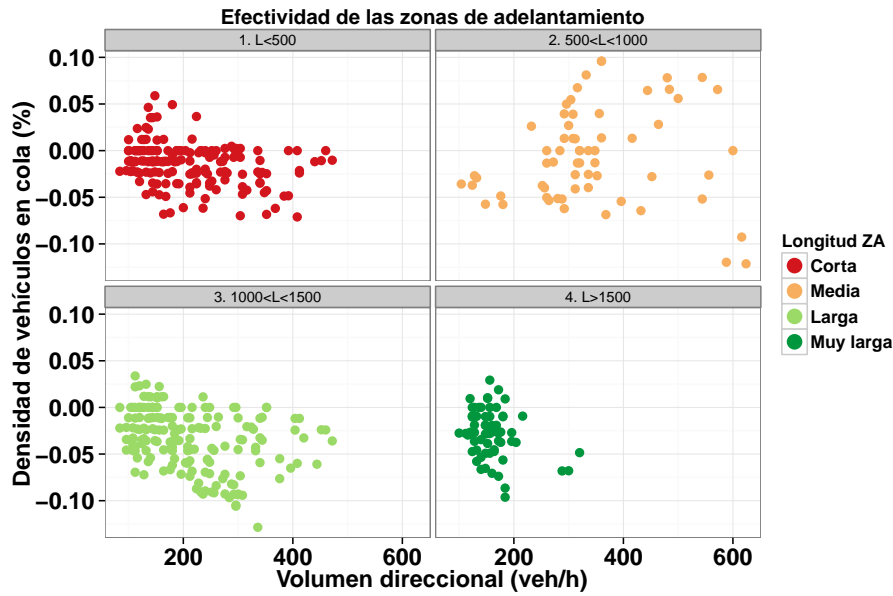


Figura 9.5: Diferencia en la densidad de vehículos en cola antes y después de la zona de adelantamiento

la efectividad en las medidas de desempeño con los datos de campo y es necesario el análisis de segmentos completos de carretera convencional para evaluar el efecto de las zonas de adelantamiento en las otras medidas de desempeño.

### 9.3.2 Adelantamientos

Como el número de adelantamientos es una variable de números enteros positivos, con mayor frecuencia en valores bajos, no se distribuye de forma normal. La modelización del número de adelantamientos mediante modelos de regresión lineal puede llevar a errores, ya que estos modelos predicen variables continuas, no enteras, y pueden predecir también valores negativos. Al tratarse de una variable de números enteros positivos, las distribuciones más apropiadas son las de Poisson o binomial negativa. La regresión de Poisson se podrá aplicar en caso de que la media sea similar a la varianza, mientras que si la varianza es significativamente superior a la media, la regresión binomial negativa es más adecuada. En este caso, los datos presentan sobredispersión, luego se ha seleccionado la regresión binomial negativa.

Se han definido dos modelos funcionales para la estimación del número de adelantamientos (Tabla 9.3).

Modelo	Ecuación
M1	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + f L_{za}}$
M2	$Ad = L_{za}^f e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o}$

Tabla 9.3: Modelos funcionales para la estimación del número de adelantamientos - zonas aisladas

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos en la configuración base (ad/h).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $L_{za}$ : longitud media de las zonas de adelantamiento (m).

- $a, b, c, d, e, f$ : coeficientes del modelo de regresión.

Se han considerado todas las combinaciones de variables independientes que incluyen el volumen direccional y se han ordenado según su AIC (Sección C.2 del Anexo C). Se han resuelto mediante modelos de regresión lineal y se ha comprobado posteriormente la normalidad de los residuos. En total se han ejecutado 64 combinaciones, de las 128 posibles.

Para comprobar la bondad del ajuste de los datos a una regresión binomial negativa, se ha realizado el test Chi-cuadrado en los residuos, de tal forma que si la probabilidad de que la suma de cuadrados de los errores sea inferior al valor de la distribución Chi-cuadrado para los grados de libertad de los residuos es superior al 5 %, los datos se ajustan a una regresión binomial negativa. Además, se ha calculado el AIC de cada modelo.

Las combinaciones que presentan mejores resultados tienen la forma funcional del modelo 2, donde la longitud multiplica a la exponencial. Entre los mejores modelos, se ha escogido el que menor número de variables tiene, para un similar AIC. Este modelo contiene el volumen direccional, la interacción entre el volumen direccional y opuesto y la longitud de la zona de adelantamiento; y el pseudo  $R^2$  es del 44.8 %. El modelo se muestra en la Ecuación 9.2. La tabla resumen del modelo se encuentra en la Sección C.3 del Anexo C.

$$Ad = L_{za}^{0,8995} e^{-4,444+7,065 \times 10^{-3} V_d - 8,207 \times 10^{-6} V_d V_o} \quad (9.2)$$

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos (ad/h).
- $L_{za}$ : longitud media de las zonas de adelantamiento (m).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).

En la Figura 9.6 se puede observar el ajuste del modelo con los datos observados. El ajuste es bueno, dada la dispersión de los datos observados, especialmente en las zonas cortas, donde existe mayor concentración de adelantamientos nulos.

Con el fin de verificar la adecuación del modelo en condiciones de tráfico distintas a las observadas, se comparó la estimación del modelo con los datos tomados en las zonas de validación, que corresponden con las pruebas 1 a 7. De las pruebas, no se incluyen las pruebas 2 (CV 50, P.K. 84+500), 5 (CV-37, P.K. 14+000) y 6 (CV-25, P.K. 5+000) por ser segmentos de carretera cortos entre glorietas. En las restantes pruebas, todas realizadas con volumen de tráfico relativamente bajo (inferior a 300 veh/h), se ha calculado la diferencia entre la estimación del modelo y los resultados.

La correlación entre los valores estimados y los observados es del 67.7 %, similar a la correlación del modelo desarrollado. El error medio en la estimación es de 5.14 ad/h, por lo que se considera un modelo bueno. La estimación es mejor en las zonas de adelantamiento cortas y la dispersión aumenta con el volumen de tráfico, al igual que en las zonas de calibración del modelo.

Finalmente, como la influencia de la longitud media de las zonas de adelantamiento se traduce en un multiplicador al número de adelantamientos base, se ha calculado la proporción de dicho multiplicador (Tabla 9.4).

Concretamente, aumentar la longitud de la zona de adelantamiento de 250 m a 1000 m incrementa en 3.48 veces el número de adelantamientos, mientras que si el incremento es a 5000 m, el número de adelantamientos se multiplica por 14.8. Destacar que el aumento es casi proporcional al incremento de longitud, aunque cada vez es menor su efecto.

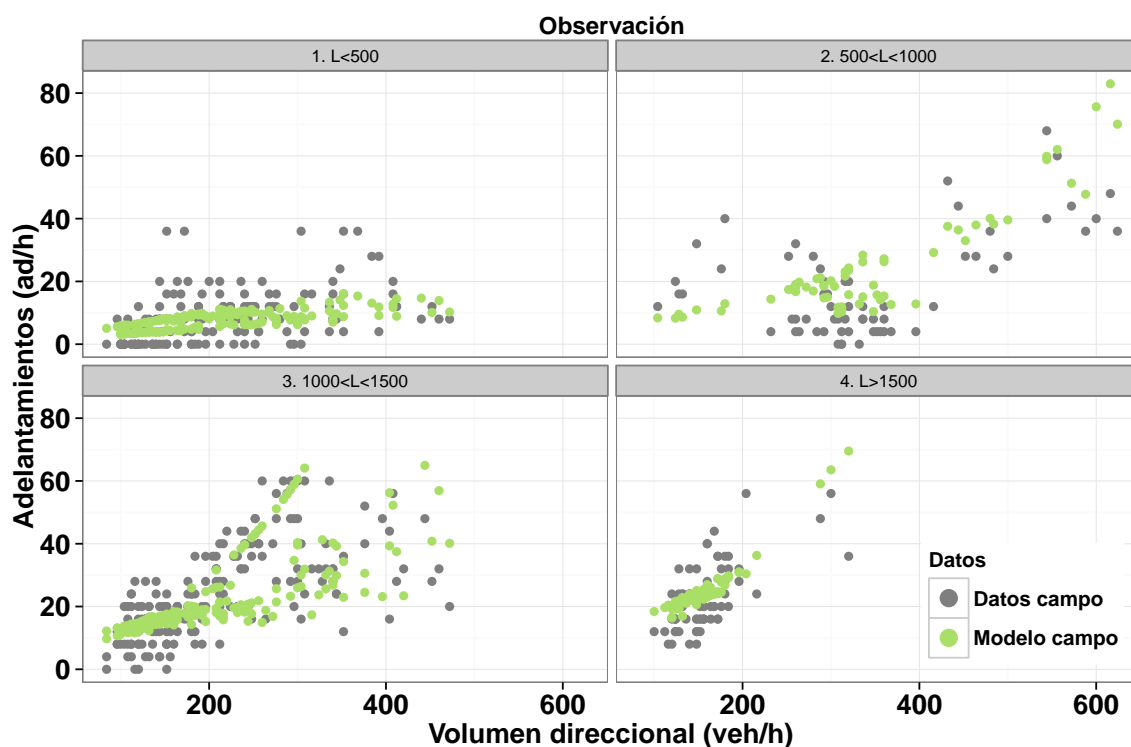


Figura 9.6: Estimación del número de adelantamientos en las zonas observadas

Lza (m)	Incremento
250	1.00
500	1.87
750	2.68
1000	3.48
1250	4.25
1500	5.01
5000	14.80
10000	27.61

Tabla 9.4: Aumento en el número de adelantamientos en función de la longitud de la zona de adelantamiento

### 9.3.3 Ratio de adelantamientos

Tras el estudio del número de adelantamientos, se ha modelizado el ratio de adelantamientos. Se ha empleado la misma metodología de la Sección 9.2.

Así, en primer lugar se han propuesto las formas funcionales que representan la variación del ratio de adelantamientos en función de las variables independientes. La transformación a la raíz es la que mejores resultados producía, por lo que se ha adoptado para el desarrollo de los modelos lineales.

Tras la transformación de la variable dependiente, se ha modelizado su relación con las variables independientes con un modelo lineal. El método de ajuste de los modelos ha sido la iteración de errores cuadráticos ponderados. Posteriormente, se han ejecutado en R las 32 combinaciones de variables independientes posibles, y se han ordenado según su AIC. En la Sección C.2 del Anexo C se resumen los resultados.

De los modelos con menor AIC, se ha seleccionado el que incluye como variables independientes el volumen direccional y la longitud de la zona de adelantamiento. Este modelo, más simple, produce

un pseudo  $R^2$  del 49.7 % y una correlación entre la variable y la estimación del 71 %. El modelo se define con la Ecuación 9.3. La tabla resumen del modelo se encuentra en la Sección C.3 del Anexo C.

$$\sqrt{PR} = 2,562 - 0,0055 V_d + 0,00359 L_{za} \quad (9.3)$$

Donde:

- $PR$ : ratio de adelantamientos (ad/follower/h).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $L_{za}$ : longitud media de las zonas de adelantamiento (m).

Al igual que con el número de adelantamientos, se ha representado la estimación del modelo y los datos de campo, en función de la longitud de la zona de adelantamiento y el volumen direccional (Figura 9.7).

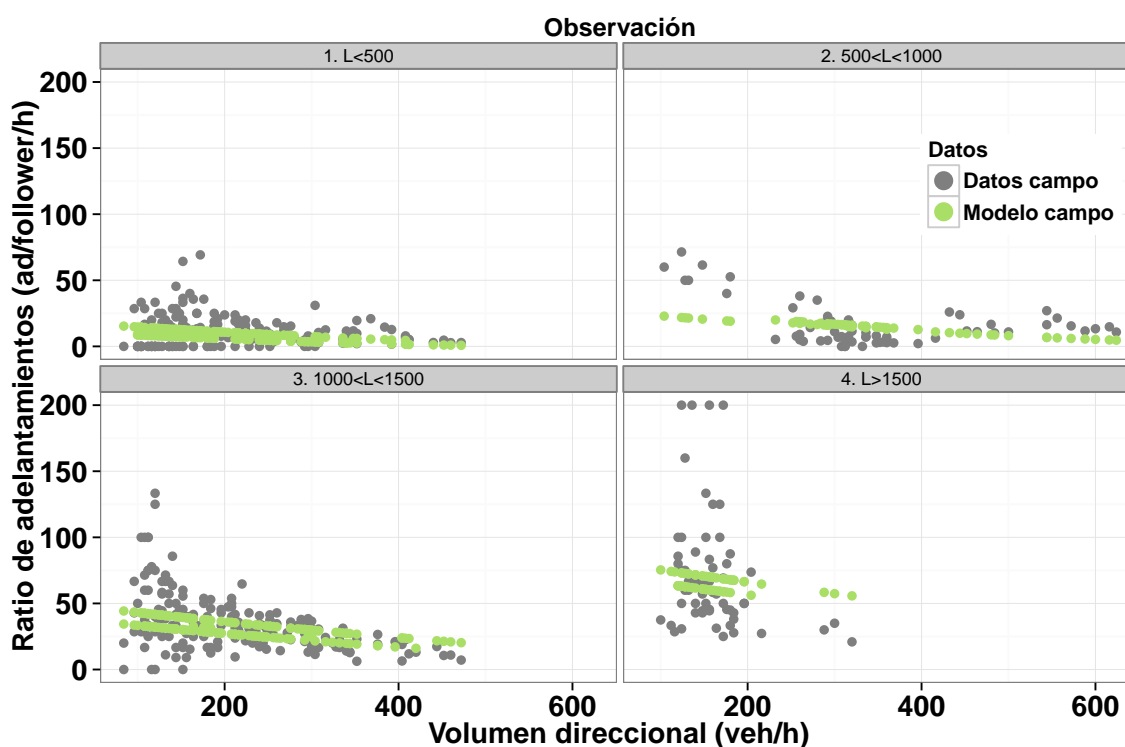


Figura 9.7: Estimación del ratio de adelantamientos en las zonas observadas

Se puede observar que el ratio de adelantamientos aumenta con la longitud de la zona de adelantamiento. En las zonas de adelantamiento cortas, la estimación es algo inferior a la media de los datos, principalmente por la mayor cantidad de adelantamientos nulos. En zonas más largas, el ajuste es mejor y es cercano al valor medio, si bien la dispersión de la variable es considerable en las zonas de adelantamiento muy largas. En estos escenarios, el ratio de adelantamientos es en algunos casos superior al 100 %. Por tanto, se producen maniobras de adelantamiento lanzadas, ya que el número de adelantamientos es superior al número de vehículos en cola al principio de la zona.

Por otro lado, el ratio de adelantamientos disminuye al aumentar el volumen de tráfico. La tendencia es más visible en las zonas de adelantamiento entre 500 y 1500 m. Las zonas muy cortas presentan un óptimo de tráfico direccional, entre 140 y 180 veh/h, en el que el ratio de adelantamientos es superior. En las restantes configuraciones, el máximo se encuentra con el volumen más bajo observado.



# Capítulo 10

## Microsimulación de tráfico

En el presente Capítulo se presentan la calibración y validación del modelo de microsimulación TWOPAS a partir de los datos de campo (Sección 10.1). Además, en la Sección 10.2 se definen los escenarios generados para su simulación con TWOPAS y en la Sección 10.3 se incluye la reducción de datos.

### 10.1 Calibración y validación de TWOPAS

El resultado de la calibración de un modelo de microsimulación es la combinación de parámetros del modelo que minimiza la diferencia entre los datos de campo y los resultados del mismo escenario simulado. Para ello, se pueden utilizar técnicas de optimización heurística. Una de estas técnicas se basa en las reglas de selección natural para buscar el óptimo de una familia de soluciones: los algoritmos genéticos. Esta técnica de optimización se aplicará para encontrar la mejor combinación de parámetros del modelo. El modelo calibrado se valida con más datos de campo. Las simulaciones han sido de 15 minutos, con un periodo de calentamiento de otros 15 minutos.

#### 10.1.1 Escenarios de calibración

En primer lugar, se debe generar el escenario de calibración en TWOPAS. De los tramos observados en el estudio de campo, se ha seleccionado el segmento entre los P.K. 4+889 y 6+754 de la N-225, ya que contaba con un mayor rango de tráfico observado. Los puntos (x,y,z) de la carretera se recogieron a partir de varios recorridos con un GPS VBOX de 10 Hz montado en un vehículo instrumentalizado.

Tras obtener la secuencia de puntos, la geometría se restituyó utilizando el software desarrollado por Camacho-Torregrosa et al. (2014). El software restituye la geometría en planta utilizando el azimut en lugar de la curvatura. Así, cada elemento geométrico se define matemáticamente en función de su azimut y se incluyen las condiciones de continuidad entre elementos consecutivos. De esta forma, la solución analítica es única, dada una secuencia de puntos.

El estado de alineaciones y rasantes obtenido en la restitución se introduce en TWOPAS (Figura 10.1 y Figura 10.2). Igualmente, se introduce la sección transversal, perfil de visibilidad disponible, zonas de adelantamiento y velocidad límite. La sección transversal de la carretera es 7/10, con carriles de 3.5 m de anchura y arcenes de 1.5 m de anchura. El perfil de visibilidad se calcula automáticamente en TWOPAS a partir de la planta y el alzado introducidos. El cálculo de visibilidad es bidimensional para la planta y el alzado, y a cada estación se le asigna el valor más restrictivo. La aproximación bidimensional, en este caso, es exacta ya que el trazado en planta es recto, sin presencia de curvas horizontales.

Una vez determinada la geometría de la carretera, se deben adaptar las condiciones que establece TWOPAS por defecto. Estas son acordes con la normativa de Estados Unidos y el parque de vehículos

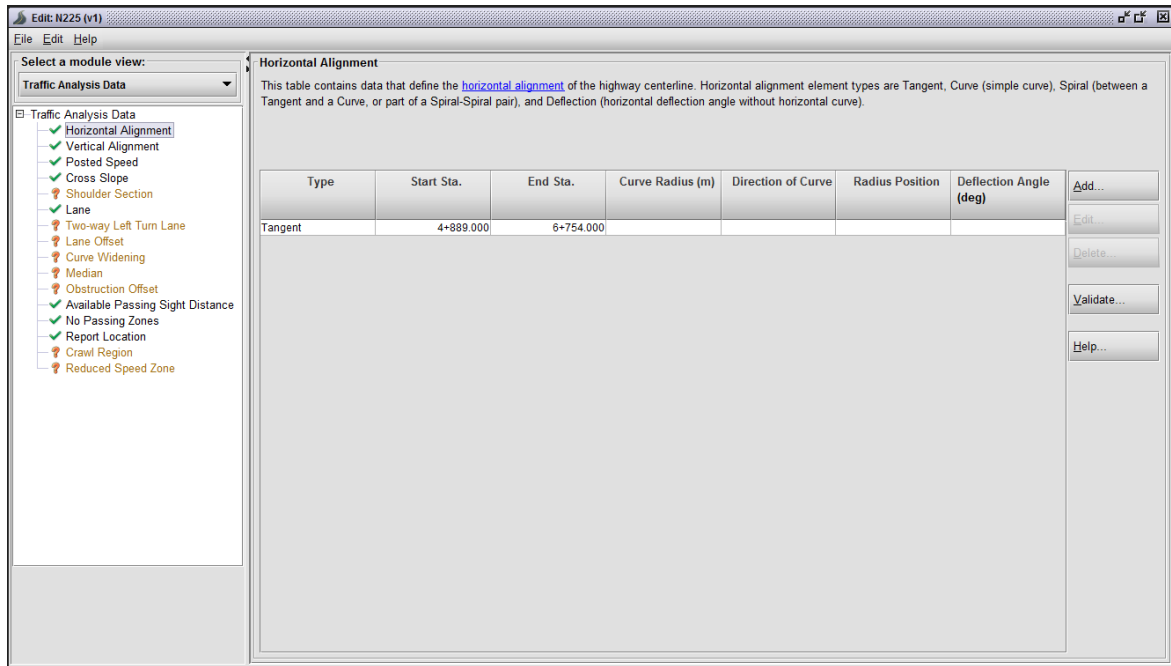


Figura 10.1: Estado de alineaciones introducido en TWOPAS

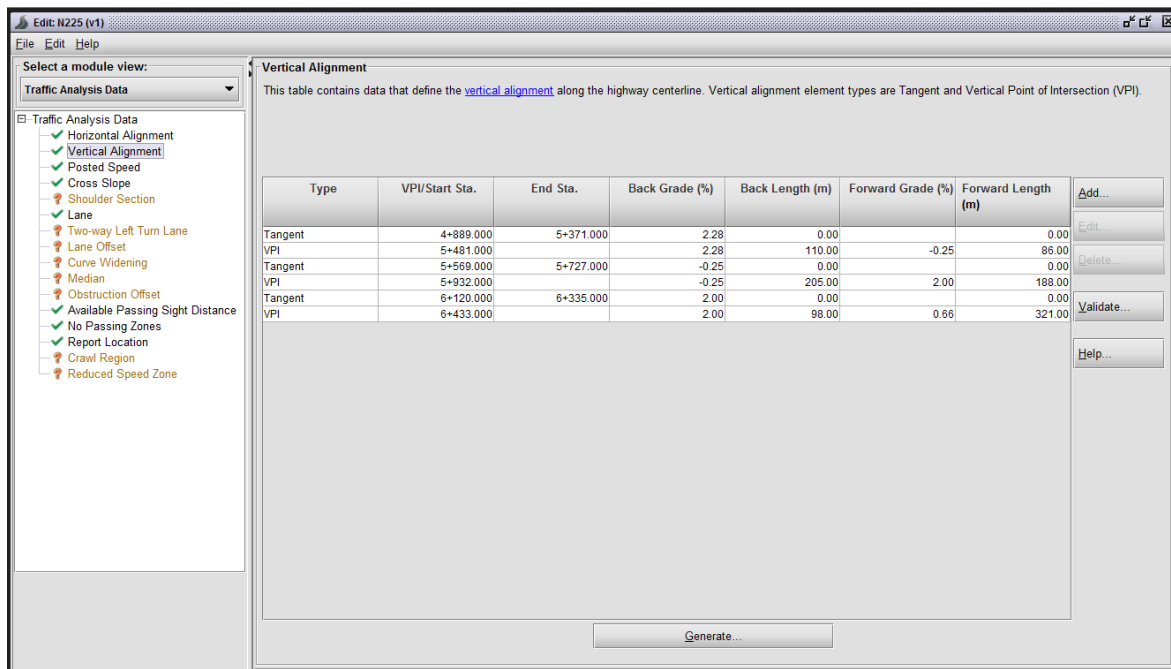


Figura 10.2: Estado de rasantes introducido en TWOPAS

americano. Así, se modificó la distancia mínima de adelantamiento, altura del conductor y del objeto (Figura 10.3) y características técnicas de los vehículos ligeros (Figura 10.4) y pesados (Figura 10.5). Estas características se recogen en el módulo de configuración de TWOPAS.

Entre las características técnicas que varían significativamente entre el parque de vehículos americano y español se encuentra la máxima aceleración y longitud media, en vehículos ligeros, o la relación peso/potencia y peso/área frontal, en pesados. Los valores tomados se muestran en la Figura 10.4 y Figura 10.5.

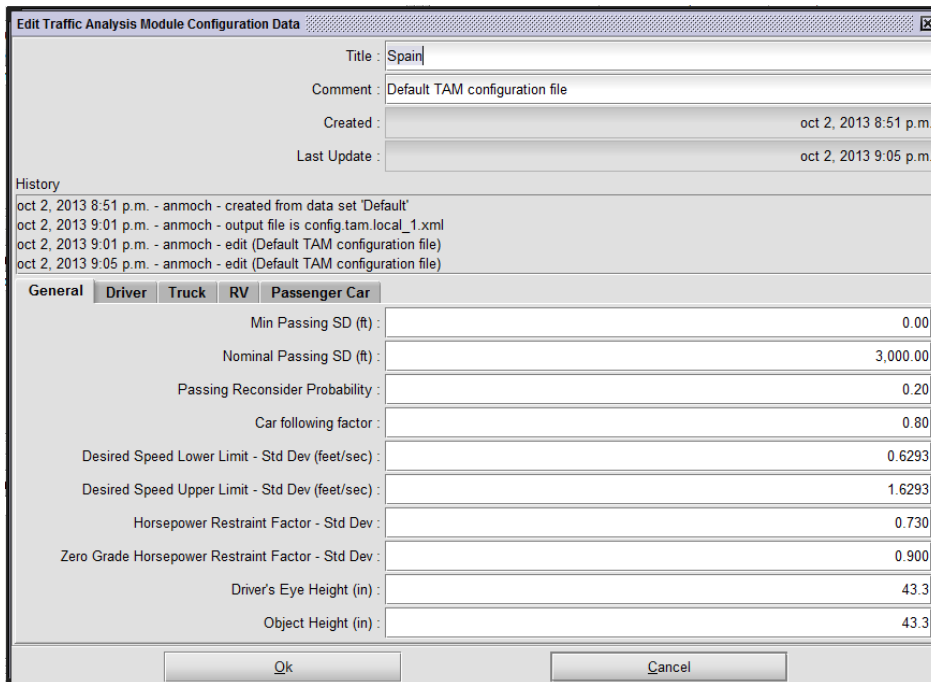


Figura 10.3: Características generales de comportamiento del conductor en TWOPAS

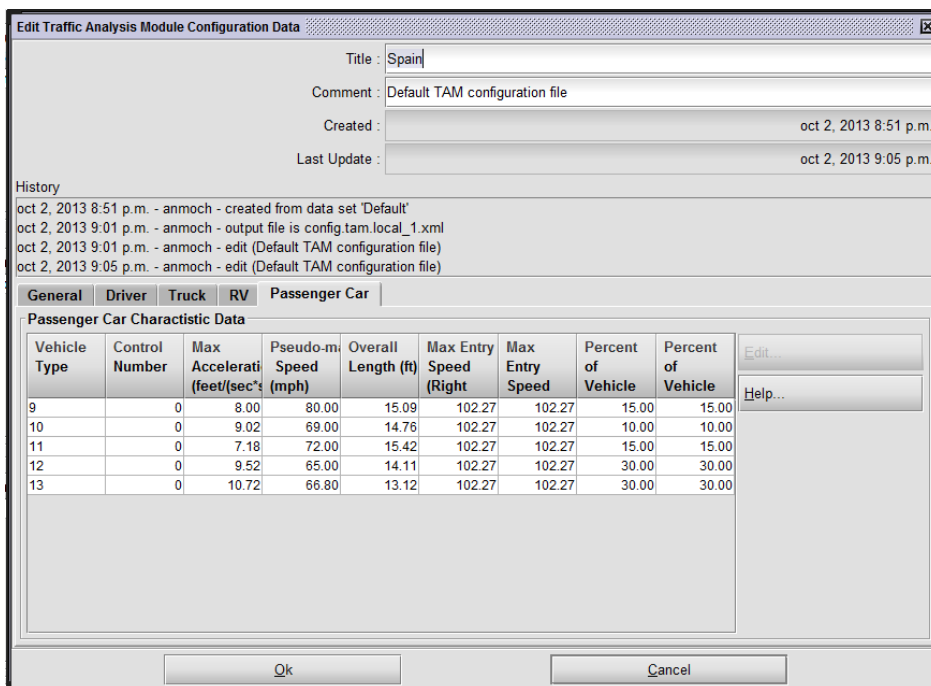


Figura 10.4: Características técnicas de los vehículos ligeros

A partir de las grabaciones, se identificaron los segmentos más representativos de la muestra y el porcentaje de la composición:

- Vehículos ligeros:
  - Utilitario: 30 % de vehículos ligeros.
  - Compacto: 30 % de vehículos ligeros.

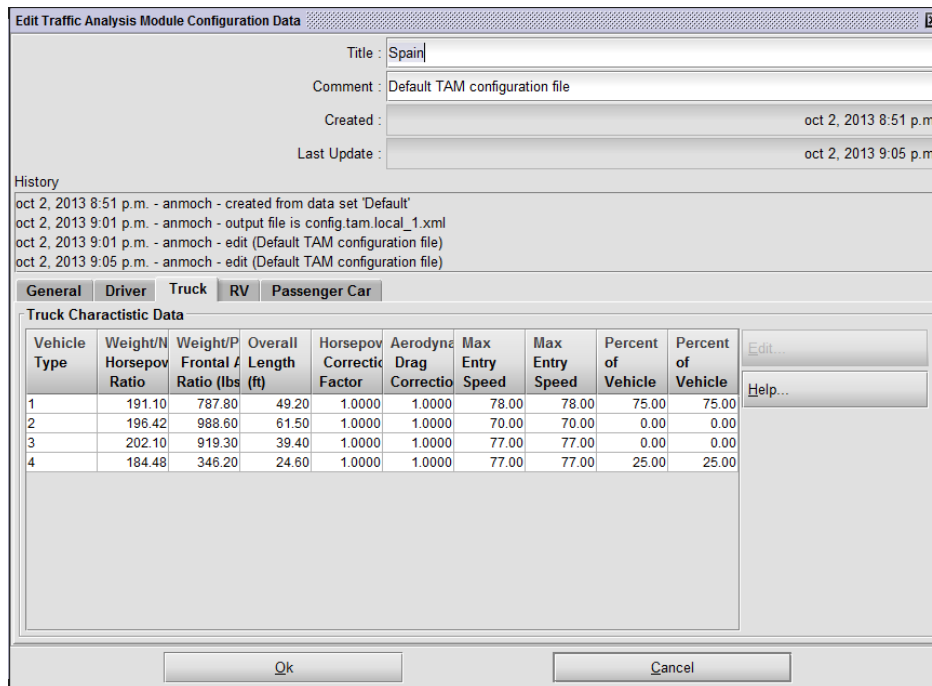


Figura 10.5: Características técnicas de los vehículos pesados

- Berlina: 15 % de vehículos ligeros.
- Monovolumen: 10 % de vehículos ligeros.
- Todoterreno: 15 % de vehículos ligeros.
- Vehículos pesados:
  - Rígido: 75 % de vehículos pesados.
  - Articulado: 25 % de vehículos pesados.

A cada tipo de vehículo se le asignaron las características técnicas de un vehículo representativo del segmento. Además, se debe introducir la velocidad deseada de cada segmento. Para ello, se tomó la velocidad media de los vehículos circulando en flujo libre con el criterio de 3 segundos del HCM 2010.

Finalmente, se introdujeron las características de tráfico de los escenarios, como intensidad de tráfico direccional, composición o velocidad deseada de los vehículos. Para obtener la composición por segmentos y la velocidad deseada, se computaron todos los vehículos que circularon por el escenario. La velocidad deseada se consideró con el criterio de 3 segundos del HCM 2010. En total, se tomaron 30 periodos de 15 minutos consecutivos. En los escenarios de tráfico ha variado el volumen direccional, la composición del tráfico y el porcentaje de vehículos en cola al principio del segmento en cada sentido. Los restantes 60 periodos de 15 minutos se emplearon para la validación del modelo.

### 10.1.2 Optimización de la calibración mediante algoritmos genéticos

Tras la definición de los escenarios para calibración, basados en los datos de campo, se ejecuta el algoritmo genético. Esta técnica de optimización busca la combinación de los parámetros a calibrar que minimiza una función objetivo, definida como la diferencia entre los datos de campo y los resultados de la simulación. Está basado en los principios de la selección natural y la supervivencia de los individuos más fuertes en cada generación (Figura 10.6).

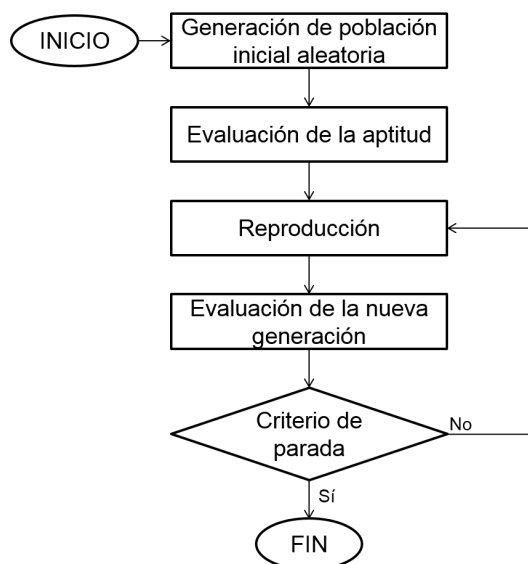


Figura 10.6: Estructura de un algoritmo genético

El algoritmo genético parte de una generación inicial de individuos (o combinaciones de parámetros de calibración). Aquellos individuos más fuertes tendrán más probabilidades de convertirse en los padres de la siguiente generación de individuos. Para engendrar un individuo de la nueva generación, dos padres cruzan su material genético. La nueva generación sustituirá completamente a la generación anterior. Al favorecerse el cruzamiento entre los individuos más fuertes, es más probable que el mejor material genético se propague en las sucesivas generaciones. Además, se puede introducir la mutación de individuos tras el cruzamiento, de forma que se diversifique la búsqueda y la población no se estanque en un óptimo local. Con una buena combinación de cruzamiento y mutación, la población irá convergiendo hacia la solución óptima del problema.

Al algoritmo se puede añadir elitismo y depredación. El elitismo hace que el individuo más fuerte sea el que se cruce con el resto de individuos, mientras que la depredación elimina a un porcentaje determinado de los peores individuos y lo sustituye por nuevos individuos generados aleatoriamente. El algoritmo podría seguir indefinidamente, por lo que se suelen incluir criterios de parada.

Se ha partido del algoritmo genético desarrollado por Bessa y Setti (2011) en el lenguaje de programación LUA y se ha adaptado la función objetivo considerando los datos de campo, al igual que los parámetros del algoritmo genético y los criterios de parada. El algoritmo tiene implementado el elitismo, cruzamiento, mutación y depredación. Cada generación puede tener hasta 40 combinaciones de parámetros a calibrar (individuos), que se aplicará a cada uno de los 30 escenarios de tráfico seleccionados. El funcionamiento de la calibración automática con algoritmos genéticos se muestra en la Figura 10.7.

Los parámetros a calibrar dependen de las características locales de los conductores y deben ser modificables por los usuarios de TWOPAS. Estos han sido:

- Probabilidad de reconsiderar comenzar una maniobra de adelantamiento en un periodo de simulación (PREC). Esta probabilidad es la inversa del tiempo que tarda el conductor en volver a evaluar el hueco disponible en el sentido contrario para iniciar una maniobra de adelantamiento. El valor por defecto es 0.2, luego reconsidera la evaluación del hueco cada 5 segundos.

- Factor de sensibilidad de seguimiento (ZKCOR). Es el parámetro del modelo de seguimiento implementado en TWOPAS. El valor por defecto es 0.8.
- Factores estocásticos de cada tipo de conductor (BKPM1 a BKPM10). Los valores por defecto de los factores son: 0.43; 0.51; 0.57; 0.65; 0.76; 0.91; 1.13; 1.34; 1.58; y 2.12.

Todos estos parámetros se encuentran en el archivo de configuración local de TWOPAS. Además, se ha acotado el intervalo de variación de cada parámetro al valor mínimo y máximo admisible en el programa.

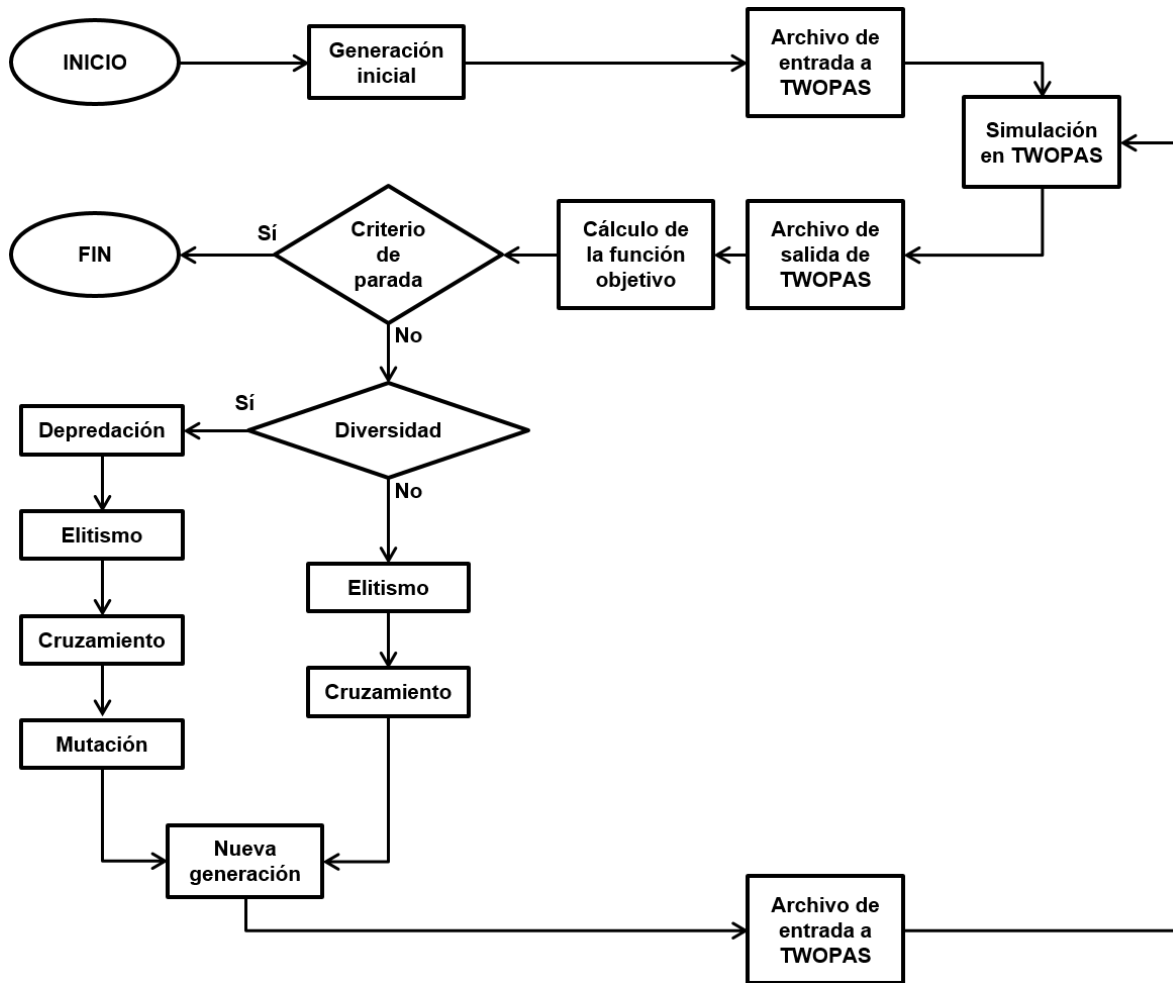


Figura 10.7: Diagrama de flujo del programa empleado para calibrar automáticamente TWOPAS

Los criterios de parada seleccionados han sido:

- Número máximo de 80 generaciones.
- Error mínimo inferior al 3%.
- Mejora en 15 generaciones sucesivas igual o inferior al 1%.

Posteriormente, se construye la función objetivo en función de los datos de campo disponibles. Para cada variable, se calculará la diferencia relativa en valor absoluto entre el valor de campo y el de simulación. El valor de la función objetivo será la suma de errores relativos dividida entre el número de variables. En este caso, se han seleccionado 20 variables (10 en cada sentido de circulación):

- Número de adelantamientos.

- Porcentaje de vehículos en cola al final del segmento.
- Velocidad media de vehículos ligeros.
- Velocidad media de vehículos pesados.
- Desviación de la velocidad de vehículos ligeros.
- Desviación de la velocidad de vehículos pesados.
- Percentil 15 de la distribución de velocidad de vehículos ligeros.
- Percentil 85 de la distribución de velocidad de vehículos ligeros.
- Percentil 15 de la distribución de velocidad de vehículos pesados.
- Percentil 85 de la distribución de velocidad de vehículos pesados.

No obstante, la importancia relativa de cada variable no es la misma, por lo que se asignó un peso a cada variable. Se probaron varias distribuciones de pesos:

1. Adelantamientos (33 %), porcentaje de vehículos en cola (33 %) y velocidades (33 %)
2. Adelantamientos (58 %), porcentaje de vehículos en cola (30 %) y velocidades (12 %)
3. Adelantamientos (84 %), porcentaje de vehículos en cola (6 %) y velocidades (8 %)

Para determinar la mejor distribución de pesos se ejecutó el algoritmo genético con 4 generaciones y se analizó la sensibilidad de la función objetivo. En base a los resultados, se tomó la última distribución de pesos.

Finalmente, se seleccionaron los parámetros del algoritmo genético. Se consideraron generaciones de 40 individuos y 5 semillas aleatorias, para cada uno de los 30 escenarios de tráfico, que resulta en 6.000 simulaciones por generación. Debido a que los parámetros de mutación, depredación y diversidad pueden condicionar que la evolución se centre en un mínimo local en lugar del mínimo global si son muy bajos, o que no converja si son muy elevados, se probaron tres combinaciones de parámetros con 20 generaciones (360.000 simulaciones). De las tres combinaciones de parámetros, se tomó la que proporcionaba un menor valor de la función objetivo. Esta correspondía con los siguientes parámetros del algoritmo genético:

- Parámetro de mutación: 0.4.
- Parámetro de depredación: 0.3.
- Parámetro de diversidad: 4.0.

Con esta combinación de parámetros, se ejecutó el algoritmo genético con 80 generaciones de 40 individuos y 5 semillas aleatorias, con 480.000 simulaciones individuales.

Los resultados de la calibración permitieron observar la evolución del valor mínimo de la función objetivo a lo largo de las generaciones. El error mínimo disminuía hasta el 3.8 % por variable en las últimas generaciones. Igualmente, en cada generación existían también individuos con mayor error que se han alejado de la solución óptima por la mutación y/o depredación, por lo que la mejora a lo largo de 15 generaciones no se estabilizaba. El error de los valores por defecto era del 7.9 %, reduciendo a menos de la mitad el error medio por variable.

Indicar que el comportamiento de los conductores españoles es más agresivo que el que está implementado por defecto en TWOPAS, ya que se multiplica por 4 la probabilidad de considerar adelantar en un periodo determinado (PREC), de 0.2 a 0.8.

### 10.1.3 Validación del modelo de microsimulación

Para la validación del modelo de simulación se tomaron 60 escenarios de tráfico adicionales a los de calibración. Estos escenarios se ejecutaron con alguna de las 25 mejores combinaciones de parámetros resultantes de la calibración, y 5 semillas aleatorias. El error medio resultante fue del 4.3 %, dándose por bueno el modelo calibrado.

## 10.2 Generación de escenarios de simulación

Para el caso de estudio se ha tomado un segmento de carretera convencional ideal de 10 km recto, con una pendiente constante del 0,5 %, en el que se ha variado la longitud de sus zonas de adelantamiento, porcentaje de vehículos pesados, reparto, volumen direccional, semilla aleatoria y combinación de parámetros calibrados.

Se han considerado tres porcentajes de zona de no adelantamiento (NPZ):

- 0 % NPZ. Configuración base, en la que el adelantamiento está permitido en toda la longitud.
- 50 % NPZ. Configuración donde está permitido adelantar en el 50 % de la longitud total.
- 100 % NPZ. En esta configuración no está permitido el adelantamiento.

Con el fin de analizar la influencia de las características de las zonas de adelantamiento, se han desarrollado distintas configuraciones con 50 % de NPZ. Se han definido 8 configuraciones simétricas (Figura 10.8) y 9 asimétricas (Figura 10.9).

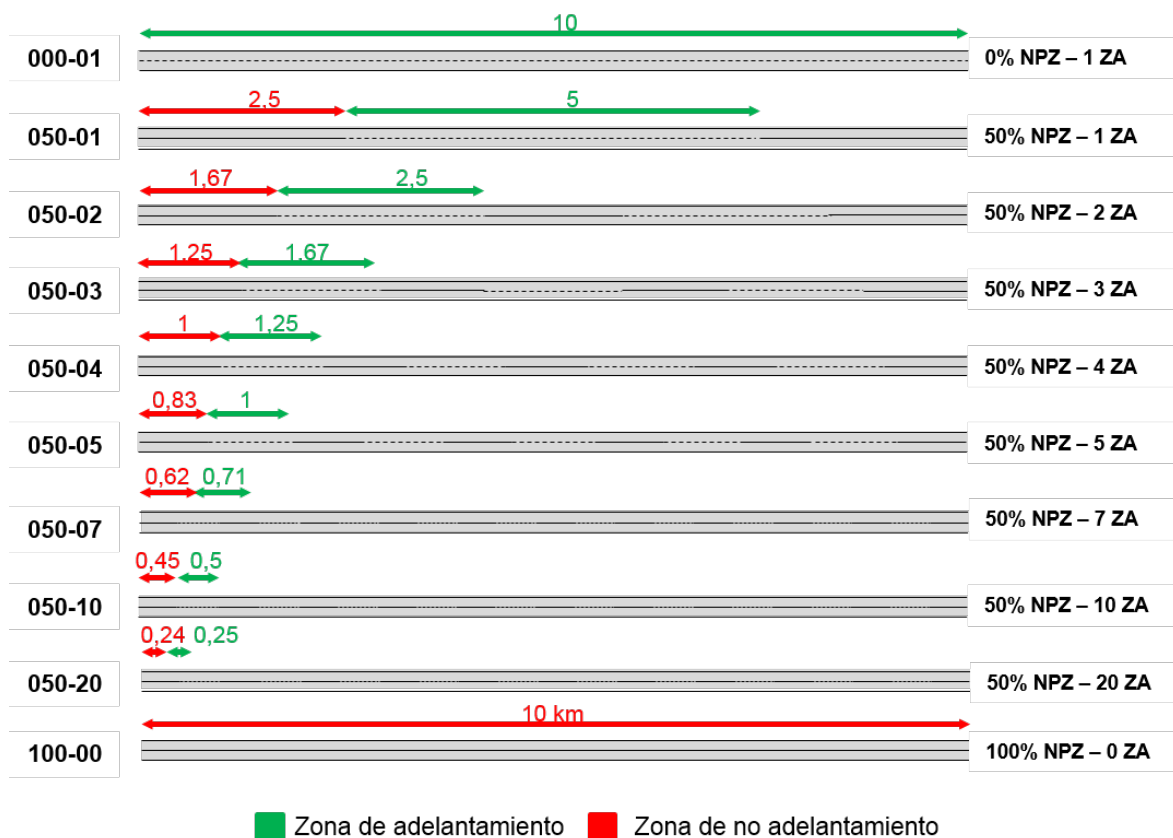


Figura 10.8: Configuraciones simétricas de zonas de adelantamiento





Figura 10.9: Configuraciones asimétricas de zonas de adelantamiento

La configuración 050-01 es la configuración simétrica con mayor longitud de zona de adelantamiento permitido. Se ha diseñado con una única zona de adelantamiento centrada en el segmento, y comenzando y terminando por dos zonas de adelantamiento no permitido. En las restantes configuraciones simétricas, se presentan iguales zonas de adelantamiento, simétricamente distribuidas a lo largo del segmento. Se han determinado 8 longitudes medias de zona de adelantamiento: 5000, 2500, 1670, 1250, 1000, 750, 500 y 250 m.

Las configuraciones asimétricas son variaciones de las anteriores, ya sea por modificación de la prohibición de adelantamiento al principio y final del segmento (configuraciones B) o por la variación de la longitud de las zonas de adelantamiento no permitido (configuraciones C-F).

En cuanto al tráfico, se han tomado 4 porcentajes de vehículos pesados (0%, 10%, 20% y 30%); 7 repartos (desde 20/80 hasta 80/20, con saltos de 10%) y 32 intensidades de tráfico direccionales, entre 100 y 1700 veh/h, con saltos entre 35 y 65 veh/h. Los saltos se seleccionaron aleatoriamente en cada caso, de tal forma que los resultados obtenidos son más continuos y no corresponden con saltos constantes de 50 veh/h. Para cada combinación de reparto e intensidad direccional, se calculó la intensidad direccional opuesta, limitada a 1700 veh/h y con volumen total inferior a 3400 veh/h. El porcentaje de vehículos en cola al principio del segmento se calculó en base al modelo desarrollado para la misma carretera a partir de los datos de campo (Ecuación 10.1).

$$PF = -60,6933 + 24,4293 \ln(V_d) \quad (10.1)$$

Donde:

- $PF$ : porcentaje de vehículos en cola (%).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).

Finalmente, para cada escenario con una distribución de zonas de adelantamiento, porcentaje de vehículos pesados, reparto e intensidad direccional, se hicieron 15 replicaciones. En ellas, se modificó la semilla aleatoria de TWOPAS, eligiendo el valor aleatoriamente entre 25 semillas, y la combinación de parámetros de calibración, tomando aleatoriamente una de las 50 mejores combinaciones resultantes en la calibración.

Se eligió utilizar 15 replicaciones para variar el comportamiento del conductor y la semilla aleatoria, sin mantener prefijadas estas variables. Para determinar la muestra necesaria, se realizaron pruebas con varios flujos de tráfico en la configuración con adelantamiento permitido en el 100 %. De cada escenario de entrada, se propusieron 30 semillas aleatorias. Posteriormente, se calculó el valor del número medio de adelantamientos de cada simulación, considerando diferente número de semillas aleatorias. El error respecto a tomar 30 semillas y menor número de semillas era inferior al 5 % con 14 replicaciones, en los casos más desfavorables. Por tanto, se consideraron 15 semillas aleatorias.

Variable	Configuración ZA	% HV	Reparto	Vd (veh/h)	Réplicas
Valores	0 % NPZ, 1. ZA (000-01);	0; 10; 20; 30	20/80; 30/70; 40/60; 50/50; 60/40; 70/30; 80/20	100-1700 saltos de 50 ± 15	15 semillas aleatorias y combinaciones de parámetros
	50 % NPZ, 1 ZA (050-01);				
	50 % NPZ, 2 ZA (050-02);				
	50 % NPZ, 3 ZA (050-03);				
	50 % NPZ, 4 ZA (050-04);				
	50 % NPZ, 5 ZA (050-05);				
	50 % NPZ, 7 ZA (050-07);				
	50 % NPZ, 10 ZA (050-10);				
	50 % NPZ, 20 ZA (050-20);				
	100 % NPZ, 0 ZA (100-00);				
	50 % NPZ, 1 ZA (050-01B);				
	50 % NPZ, 1 ZA (050-01C);				
	50 % NPZ, 2 ZA (050-02B);				
	50 % NPZ, 2 ZA (050-02C);				
	50 % NPZ, 2 ZA (050-02D);				
	50 % NPZ, 2 ZA (050-02E);				
	50 % NPZ, 2 ZA (050-02F);				
	50 % NPZ, 2 ZA (050-04B);				
	50 % NPZ, 2 ZA (050-10B)				
Subtotal	19	4	7	32	15
<b>TOTAL</b>	<b>188100 simulaciones ejecutadas, 182106 simulaciones válidas</b>				

**Tabla 10.1:** Escenarios simulados en TWOPAS

En total se han generado 188100 escenarios, como se muestra en la Tabla 10.1. Para cada escenario, se generó un archivo .INP de entrada de datos a TWOPAS con la configuración de zonas de adelantamiento, perfil de visibilidad, geometría, tráfico y comportamiento del conductor. En la Figura 10.10 se muestra un ejemplo.

Los archivos se ejecutaron en TWOPAS mediante un código desarrollado en LUA, que parte de un listado con las rutas de los archivos .INP y los abre desde el ejecutable TWOPAS.exe.

Figura 10.10: Ejemplo de archivo .INP

### 10.3 Reducción de datos

Tras la ejecución de los 188100 escenarios desde LUA, se extrajeron los datos a analizar. En un primer paso, se comprobó si todos los escenarios simulados produjeron un archivo de salida con resultados. 5995 escenarios no devolvieron resultados. En estos escenarios, la intensidad de tráfico era elevada, ya fuera un volumen de tráfico direccional superior a 1500 veh/h o un volumen total superior a 3220 veh/h. A pesar de que el volumen máximo direccional en TWOPAS es 2000 veh/h, y se indica que flujos superiores a 1700 veh/h generan congestiones que para el programa (ITT Corporation, 2011), con menor intensidad direccional se producían errores.

En consecuencia, se contaron con datos de 182106 escenarios, que resultaron en 364212 datos direccionales.

De cada archivo .OUT que genera TWOPAS para cada simulación individual se extrajo, para cada sentido de circulación:

- Número de vehículos ligeros simulados.
- Número de vehículos pesados simulados.
- Características del modelo: precisión, factor de sensibilidad de seguimiento y factores estocásticos de cada tipo de conductor.
- Semilla aleatoria.
- Número total de adelantamientos en el segmento, en vehículos ligeros, pesados y total.
- Velocidad media de recorrido, en vehículos ligeros, pesados y total.

- Porcentaje de vehículos con intervalo inferior a 3 segundos al principio del segmento, en vehículos ligeros, pesados y total.
- Porcentaje de vehículos con intervalo inferior a 3 segundos al final del segmento, en vehículos ligeros, pesados y total.
- Porcentaje de vehículos con intervalo inferior a 4 segundos al principio del segmento, en vehículos ligeros, pesados y total.
- Porcentaje de vehículos con intervalo inferior a 4 segundos al final del segmento, en vehículos ligeros, pesados y total.
- Porcentaje de tiempo no condicionado, en vehículos ligeros, pesados y total.

5002h10r60v700s9: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

IRUN NO. 1 IHSMD Project: Base; IHSMD Analysis: h00 15.00 MIN. PAGE 7

OHEADWAYS AND PLATOONS

OHEADWAYS	AT	START LINES	DIRECTION ONE			DIRECTION TWO			BOTH DIRECTIONS		
			NUM	%	% SUM	NUM	%	% SUM	NUM	%	% SUM
0	LT	1	4.	1.15	1.15	5.	2.16	2.16	9.	1.55	1.55
1	LT	2	15.	4.32	5.48	8.	3.45	5.60	23.	3.97	5.53
2	LT	3	117.	33.72	39.19	70.	30.17	35.78	187.	32.30	37.82
3	LT	4	108.	31.12	70.32	46.	19.83	55.60	154.	26.60	64.42
4	LT	5	13.	3.75	74.06	8.	3.45	59.05	21.	3.63	68.05
5	LT	10	59.	17.00	91.07	44.	18.97	78.02	103.	17.79	85.84
10	LT	15	20.	5.76	96.83	20.	8.62	86.64	40.	6.91	92.75
15	LT	20	7.	2.02	98.85	13.	5.60	92.24	20.	3.45	96.20
20	LT	99	4.	1.15	100.00	18.	7.76	100.00	22.	3.80	100.00
	ALL		347.			232.			579.		

OHEADWAYS	AT	FINISH LINES	DIRECTION ONE			DIRECTION TWO			BOTH DIRECTIONS		
			NUM	%	% SUM	NUM	%	% SUM	NUM	%	% SUM
0	LT	1	8.	5.19	5.19	10.	8.93	8.93	18.	6.77	6.77
1	LT	2	2.	1.30	6.49	3.	2.68	11.61	5.	1.88	8.65
2	LT	3	51.	33.12	39.61	35.	31.25	42.86	86.	32.33	40.98
3	LT	4	79.	51.30	90.91	44.	39.29	82.14	123.	46.24	87.22
4	LT	5	2.	1.30	92.21	2.	1.79	83.93	4.	1.50	88.72
5	LT	10	2.	1.30	93.51	4.	3.57	87.50	6.	2.26	90.98
10	LT	15	0.	0.00	93.51	4.	3.57	91.07	4.	1.50	92.48
15	LT	20	1.	0.65	94.16	2.	1.79	92.86	3.	1.13	93.61
20	LT	99	9.	5.84	100.00	8.	7.14	100.00	17.	6.39	100.00
	ALL		154.			112.			266.		

OPLATOONS	AT	FINISH LINES	DIRECTION ONE			DIRECTION TWO			BOTH DIRECTIONS		
		SIZE	NUM	%	% SUM	NUM	%	% SUM	NUM	%	% SUM
0		1	1.	6.67	6.67	5.	23.81	23.81	6.	16.67	16.67
		2	2.	13.33	20.00	5.	23.81	47.62	7.	19.44	36.11
		3	2.	13.33	33.33	4.	19.05	66.67	6.	16.67	52.78
		4	0.	0.00	33.33	0.	0.00	66.67	0.	0.00	52.78
		5-6	2.	13.33	46.67	2.	9.52	76.19	4.	11.11	63.89
		7-8	2.	13.33	60.00	1.	4.76	80.95	3.	8.33	72.22
		9-10	1.	6.67	66.67	2.	9.52	90.48	3.	8.33	80.56
		11-15	3.	20.00	86.67	2.	9.52	100.00	5.	13.89	94.44
		16-20	1.	6.67	93.33	0.	0.00	100.00	1.	2.78	97.22
		21-30	1.	6.67	100.00	0.	0.00	100.00	1.	2.78	100.00
		31-	0.	0.00	100.00	0.	0.00	100.00	0.	0.00	100.00
	ALL		15.			21.			36.		

IRUN NO. 1 IHSMD Project: Base; IHSMD Analysis: h00 15.00 MIN. PAGE 8

OVERTAKING EVENTS CLASSIFIED ON SPEED DIFFERENCE

DIRECTION ONE		DIRECTION TWO		BOTH DIRECTIONS	
SPEED DIFF (FT/SEC)	NUMBER	SPEED DIFF (FT/SEC)	NUMBER	SPEED DIFF (FT/SEC)	NUMBER
0 LT 10	228.	0 LT 10	162.	0 LT 10	390.
10 LT 20	64.	10 LT 20	7.	10 LT 20	71.
20 LT 30	27.	20 LT 30	12.	20 LT 30	39.
30 LT 40	4.	30 LT 40	1.	30 LT 40	5.
40 LT 50	2.	40 LT 50	0.	40 LT 50	2.
50 LT 60	0.	50 LT 60	0.	50 LT 60	0.
60 LT 70	0.	60 LT 70	0.	60 LT 70	0.
70 LT 999	0.	70 LT 999	0.	70 LT 999	0.
ALL	325.	ALL	182.	ALL	507.

Figura 10.11: Ejemplo de archivo .OUT

En la Figura 10.11 se muestra una parte del archivo .OUT de TWOPAS. La extracción de datos se programó mediante macros en Excel. A partir de las variables, se calculó:

- Porcentaje de tiempo en cola: complementario del porcentaje de tiempo no condicionado.
- Densidad de vehículos en cola: ratio entre el número de vehículos en cola y la velocidad media.
- Diferencia en el porcentaje de vehículos en cola: diferencia entre el porcentaje de vehículos en cola al inicio y final del segmento, considerando intervalo de 3 y 4 segundos.
- Diferencia en la densidad de vehículos en cola: diferencia entre la densidad de vehículos en cola al inicio y final del segmento, considerando intervalo de 3 segundos.

Destacar que TWOPAS proporciona el histograma de intervalos para valores enteros, luego no es posible obtener porcentaje de vehículos en cola con intervalos entre 3 y 4. Además, el porcentaje de tiempo libre se calcula en base al tiempo en el que cada vehículo individual no se encuentra en estado libre. Para ello, se considera el tiempo en los estados 2 a 6 de TWOPAS: adelantando a un líder, pero aún 2.4 m/s más rápido que el líder; siguiendo a un líder; siguiendo a un líder y con interés de adelantar; adelantando a otro vehículo; o, abortando un adelantamiento. En la consideración de circular en flujo libre, se indica que el vehículo no está impedido por otros, por lo que se puede desprender que es en aquella situación donde la velocidad del vehículo es igual a su velocidad deseada.

El análisis de las variables en función del tráfico y las características de las zonas de adelantamiento se muestra en el Capítulo 11.



# Capítulo 11

## Funcionalidad en segmentos de carretera convencional

En el presente Capítulo se van a analizar los resultados obtenidos en el Capítulo 10, de microsimulación. La evaluación funcional se ha realizado en cuatro fases sucesivas. En la Sección 11.1 se muestra el análisis preliminar de segmentos de carretera. En la Sección 11.2 se incluye el análisis individualizado de cada configuración de zonas de adelantamiento. Posteriormente, en la Sección 11.3 se detalla el análisis global del número de adelantamientos. Finalmente, en la Sección 11.4 se desarrolla el modelo global de las medidas de desempeño: velocidad media y porcentaje de tiempo en cola.

### 11.1 Análisis preliminar

Al igual que en el análisis de zonas de adelantamiento, se ha caracterizado en primer lugar la muestra con los estadísticos descriptivos básicos. En la Tabla 11.1 se resume la media, desviación típica, mediana, valores extremos, coeficiente de asimetría y coeficiente de kurtosis. Se han considerado las medidas de desempeño siguientes, ya definidas en el Capítulo 8:

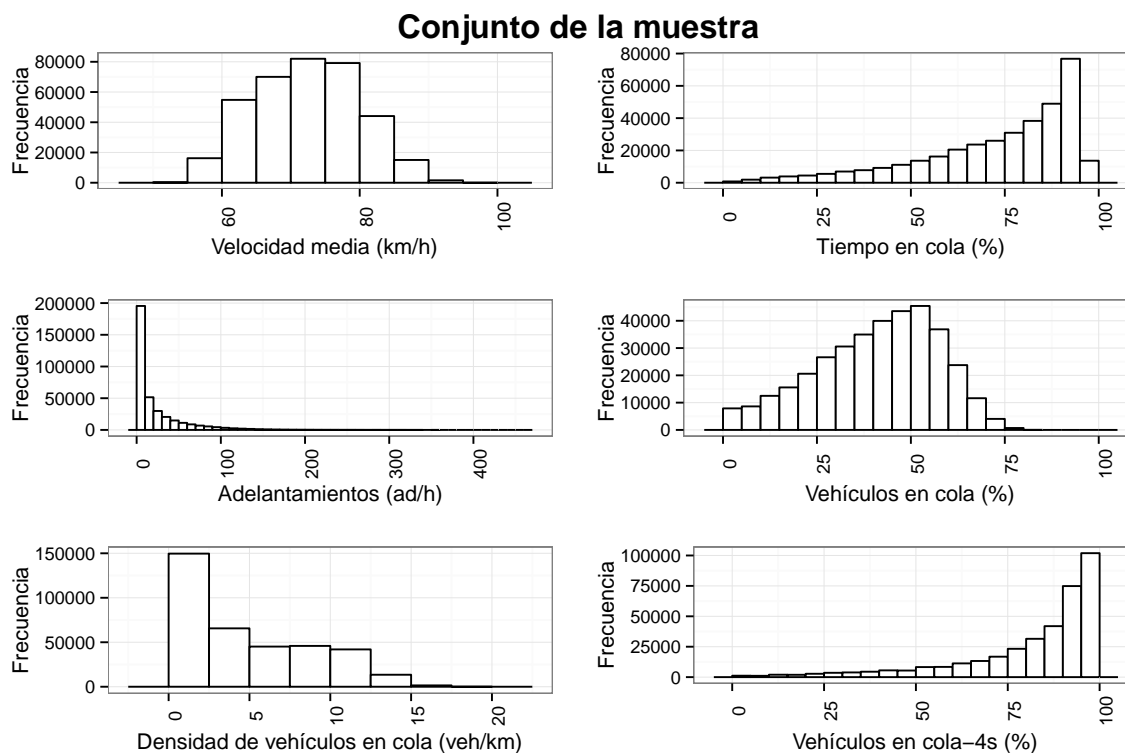
- Velocidad media de recorrido, *ATS*, *Average Travel Speed* (km/h).
- Porcentaje de tiempo en cola, *PTSF*, *Percent Time Spent Following* (%).
- Número de adelantamientos, *Ad*, *Adelantamientos - Passes* (ad/15 min).
- Porcentaje de vehículos en cola, *PF*, *Percent Followers* (%).
- Densidad de vehículos en cola, *FD*, *Follower Density* (foll/km).
- Porcentaje de vehículos en cola considerando un intervalo de 4 segundos, *PF4*, *Percent Followers* (%).

	mean	sd	median	min	max	skew	kurtosis
ATS (km/h)	72.37	7.56	72.53	52.52	96.76	0.04	-0.70
PTSF (%)	72.79	21.04	79.36	0.03	100.00	-1.12	0.57
Ad (ad/15min)	21.49	33.87	8.00	0.00	456.00	2.98	13.17
PF (%)	40.84	16.45	43.03	0.00	83.65	-0.43	-0.45
FD (foll/km)	4.79	4.10	3.53	0.00	18.50	0.64	-0.82
PF4 (%)	81.37	19.75	89.44	0.00	99.70	-1.74	2.67

**Tabla 11.1:** Resumen de estadísticos básicos del conjunto de la muestra

De los descriptivos anteriores, destacan las diferencias entre el porcentaje de tiempo en cola (*PTSF*) y el porcentaje de vehículos en cola (*PF*), tanto en valor medio (casi un 32 %) como en mediana y extremo superior.

En la Figura D.1 se muestran los histogramas de las medidas de desempeño.



**Figura 11.1:** Histograma de las medidas de desempeño principales del conjunto de la muestra

El porcentaje de vehículos en cola, considerando el criterio del HCM 2010 de intervalo igual a 3 segundos, no representa adecuadamente el porcentaje de tiempo en cola. Difiere tanto la forma de la distribución como los valores medios y su dispersión. Además, las diferencias han sido patentes tanto en el conjunto de la muestra como en las otras variables independientes (Sección D.1 del Anexo D), por lo que parece que no exista ningún escenario en el que el porcentaje de tiempo en cola pueda ser estimado con esta variable.

Igualmente, el porcentaje de vehículos en cola máximo no alcanza el 85 % mientras que el porcentaje de tiempo en cola sí lo supera, llegando al 99 %, luego TWOPAS puede considerar vehículos en cola a pesar de mantener un intervalo superior a 3 segundos.

El porcentaje de vehículos en cola, considerando un criterio igual a 4 segundos se aproxima más al porcentaje de tiempo en cola, si bien tiene menor sensibilidad al volumen direccional. El intervalo óptimo para determinar el porcentaje de vehículos en cola que más se asemeje al porcentaje de tiempo en cola se encuentra entre 3 y 4 segundos.

El volumen direccional es la variable que mayor influencia tiene en las medidas de desempeño, modificando no únicamente el valor medio de las medidas sino también su distribución.

El reparto afecta significativamente a las medidas de desempeño, por lo que el volumen opuesto es importante para estimar las medidas de desempeño. Esta variable deberá ser considerada de forma conjunta con el volumen direccional en los análisis posteriores. En consecuencia, se descarta la hipótesis inicial de análisis conjunto de ambos sentidos de circulación que se desprendía de las observaciones.



El porcentaje de vehículos pesados no parece influir en gran medida en las variables de seguimiento y número de adelantamientos, aunque sí modifica ligeramente la velocidad media.

El porcentaje de zonas de adelantamiento no permitido no es suficiente para estimar las medidas de desempeño. La longitud de las zonas, al igual que su distribución, influyen considerablemente en los resultados. Se deberán, por tanto, incluir en la metodología de estimación.

Las repercusiones de este análisis son:

- Es necesario un estudio en detalle del intervalo que determina el porcentaje de vehículos en cola. Con la actual salida de datos de TWOPAS no es posible obtener el porcentaje de vehículos en cola asociados a intervalos no enteros, por lo que no se podrá realizar un análisis completo del porcentaje de vehículos en cola para estimar el porcentaje de tiempo en cola. Por tanto, se descarta la modelización del porcentaje de vehículos en cola, por no ser representativo del porcentaje de tiempo en cola con los dos intervalos disponibles.
- La densidad de vehículos en cola es una medida de desempeño derivada del porcentaje de vehículos en cola, velocidad media y volumen de tráfico. Al no disponer de un criterio claro que establezca la condición de seguimiento, se pospone el análisis de esta variable hasta contar con el intervalo óptimo, quedando fuera del alcance de la Tesis Doctoral.
- Las medidas de desempeño a estudiar son la velocidad media y el porcentaje de tiempo en cola. Además, se modelizará el número de adelantamientos.

## 11.2 Caracterización individual de las configuraciones de zonas de adelantamiento

Tras el análisis preliminar de la muestra y la influencia aislada de las variables geométricas y de tráfico, se ha caracterizado cada configuración individualmente, eliminando la influencia de las variables geométricas. Así, los modelos de las medidas de desempeño únicamente dependen de las variables de tráfico. La influencia de las variables geométricas en el número de adelantamientos se considerará en la Sección 11.2.3, mientras que en la Sección 11.4 se determinará sobre las medidas de desempeño.

De los modelos estadísticos de cada configuración, se desprenderán las variables de tráfico con mayor influencia en los resultados, así como la forma funcional de las medidas de desempeño.

Para cada medida de desempeño, se ha seguido el proceso siguiente:

- Propuesta de modelos funcionales.
- Ejecución de los modelos, con todas las combinaciones de variables independientes, y obtención de sus estadísticos básicos.
- Selección de modelo funcional y combinación de variables independientes óptima, en función del AIC, de la correlación de datos y predicciones y del número de variables independientes.
- Discusión de los modelos en función de la configuración de zonas de adelantamiento.

Se ha modelizado la velocidad media (Sección 11.2.1), el porcentaje de tiempo en cola (Sección 11.2.2) y el número de adelantamientos (Sección 11.2.3).

### 11.2.1 Velocidad media

En primer lugar, se ha estudiado la velocidad media. Se han propuesto tres modelos funcionales, obtenidos del Estado del Arte (Capítulo 3). A diferencia de otras investigaciones, se ha incluido el porcentaje de vehículos pesados, ya que no se cuenta con una equivalencia propia entre vehículos ligeros y pesados.

En la Tabla 11.2 se resumen los modelos funcionales, con las tres variables independientes y dos de sus interacciones consideradas.

Modelo	Ecuación
M1	$ATS = b_0 + b_1 V_d + b_2 V_o + b_3 HV_d + b_4 V_d V_o + b_5 V_d HV_d$
M2	$ATS = b_0 + b_1 \sqrt{V_d} + b_2 V_o + b_3 HV_d + b_4 \sqrt{V_d} V_o + b_5 \sqrt{V_d} HV_d$
M3	$ATS = b_0 + b_1 \sqrt{V_d} + b_2 \sqrt{V_o} + b_3 HV_d + b_4 \sqrt{V_d} \sqrt{V_o} + b_5 \sqrt{V_d} HV_d$

**Tabla 11.2:** Velocidad media - Modelos funcionales para la configuración individual

Donde:

- $ATS$ : velocidad media en la configuración base (km/h).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $HV_d$ : porcentaje de vehículos pesados (%).
- $b_i$ : coeficientes de la regresión.

Al igual que en el análisis de zonas de adelantamiento, se han ejecutado en R todas las posibles combinaciones de variables que incluyen el volumen direccional (32 combinaciones). Se han empleado modelos lineales y se ha comprobado la normalidad de los residuos.

Las tablas resumen se encuentran en la Sección D.2.1 del Anexo D. En ellas se han ordenado los 96 modelos estudiados (3 modelos funcionales con 32 combinaciones de variables independientes) en función de su AIC (Akaike Information Criteria).

El análisis comparativo se ha realizado en las 19 configuraciones de zona de adelantamiento, para obtener una forma funcional única, a partir de los 1824 modelos ejecutados. La forma funcional que mejor se ajusta en todos los casos corresponde al M1, con el volumen direccional, el volumen opuesto y el porcentaje de vehículos pesados, como variables independientes. Los modelos resultantes, para cada configuración, se recogen en la Tabla 11.3.

En todos los casos, se observa una correlación elevada entre los valores predichos y los datos, entre el 91 y 94 %. Existe una mayor incidencia del volumen direccional que el volumen opuesto, con mayores disminuciones de la velocidad, mientras que el aumento de porcentaje de pesados también decrece la velocidad ligeramente. El resumen estadístico de cada modelo se encuentra en Sección D.3.1 del Anexo D.

Se confirma, por tanto, que el modelo lineal del HCM 2010 es el que mejor representa la variación de la velocidad media en función de las variables de tráfico, en comparación con los modelos cóncavos que se proponen en otras normativas. Ambos modelos fueron calibrados a partir de TWOPAS, por lo que el modelo de comportamiento del programa puede influir en los resultados.

En la Figura 11.2 se muestra el ajuste del modelo a los datos de la simulación en la configuración 000-01. Se puede observar que los valores estimados se encuentran dentro de la banda de los resultados de la simulación en todos los repartos y volumen direccional, si bien en repartos poco favorables se intuye una relación cóncava, que desaparece a partir de 50/50. El ajuste es similar en las restantes configuraciones.

Configuración	Ecuación	Correlación (%)	Pseudo $R^2$
000_01	$ATS = 89,52 - 1,504 \times 10^{-2} V_d - 6,44 \times 10^{-3} V_o - 5,22 \times 10^{-2} HV_d$	94.1	88.5
050_01	$ATS = 87,41 - 1,582 \times 10^{-2} V_d - 4,21 \times 10^{-3} V_o - 3,50 \times 10^{-2} HV_d$	94.1	88.6
050_012	$ATS = 88,01 - 1,604 \times 10^{-2} V_d - 4,31 \times 10^{-3} V_o - 4,09 \times 10^{-2} HV_d$	94.4	89.2
050_013	$ATS = 85,92 - 1,557 \times 10^{-2} V_d - 3,19 \times 10^{-3} V_o - 2,43 \times 10^{-2} HV_d$	93.2	86.9
050_02	$ATS = 87,22 - 1,596 \times 10^{-2} V_d - 3,94 \times 10^{-3} V_o - 3,27 \times 10^{-2} HV_d$	94.0	88.4
050_022	$ATS = 86,18 - 1,661 \times 10^{-2} V_d - 3,68 \times 10^{-3} V_o - 8,77 \times 10^{-2} HV_d$	93.0	86.5
050_023	$ATS = 87,07 - 1,703 \times 10^{-2} V_d - 4,12 \times 10^{-3} V_o - 9,10 \times 10^{-2} HV_d$	93.5	87.5
050_024	$ATS = 85,14 - 1,690 \times 10^{-2} V_d - 2,59 \times 10^{-3} V_o - 8,08 \times 10^{-2} HV_d$	92.3	85.1
050_025	$ATS = 86,55 - 1,682 \times 10^{-2} V_d - 3,94 \times 10^{-3} V_o - 8,74 \times 10^{-2} HV_d$	93.3	87.1
050_026	$ATS = 84,60 - 1,676 \times 10^{-2} V_d - 2,21 \times 10^{-3} V_o - 8,23 \times 10^{-2} HV_d$	91.9	84.4
050_03	$ATS = 86,97 - 1,588 \times 10^{-2} V_d - 3,80 \times 10^{-3} V_o - 3,43 \times 10^{-2} HV_d$	93.9	88.2
050_04	$ATS = 86,63 - 1,595 \times 10^{-2} V_d - 3,46 \times 10^{-3} V_o - 3,16 \times 10^{-2} HV_d$	93.7	87.8
050_042	$ATS = 85,90 - 1,676 \times 10^{-2} V_d - 3,51 \times 10^{-3} V_o - 8,12 \times 10^{-2} HV_d$	93.0	86.4
050_05	$ATS = 86,17 - 1,581 \times 10^{-2} V_d - 3,17 \times 10^{-3} V_o - 2,95 \times 10^{-2} HV_d$	93.8	87.9
050_07	$ATS = 84,87 - 1,640 \times 10^{-2} V_d - 2,74 \times 10^{-3} V_o - 8,43 \times 10^{-2} HV_d$	92.6	85.7
050_10	$ATS = 84,39 - 1,5072 \times 10^{-2} V_d - 1,71 \times 10^{-3} V_o - 1,69 \times 10^{-2} HV_d$	93.1	86.6
050_102	$ATS = 83,55 - 1,626 \times 10^{-2} V_d - 1,75 \times 10^{-3} V_o - 7,57 \times 10^{-2} HV_d$	91.8	84.2
050_20	$ATS = 82,75 - 1,600 \times 10^{-2} V_d - 1,24 \times 10^{-3} V_o - 7,14 \times 10^{-2} HV_d$	91.1	83.0
100_00	$ATS = 83,26 - 1,535 \times 10^{-2} V_d - 1,13 \times 10^{-3} V_o - 8,99 \times 10^{-3} HV_d$	92.0	84.6

Tabla 11.3: Resumen de modelos de velocidad media en función de la configuración

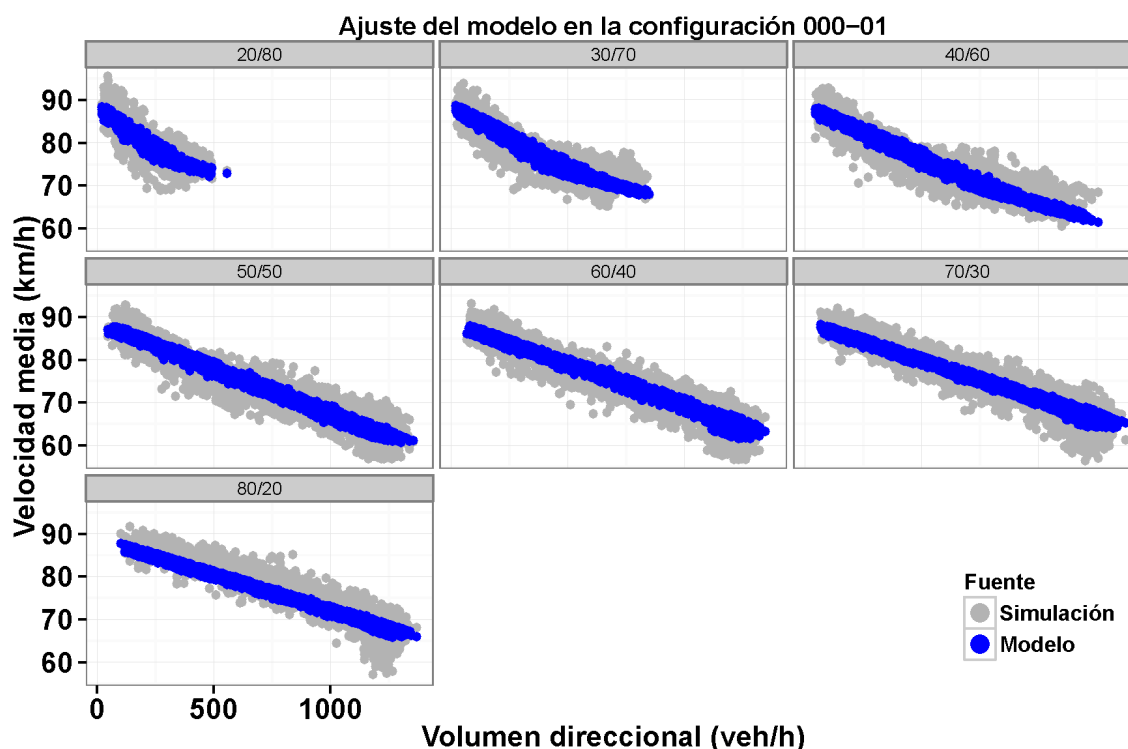
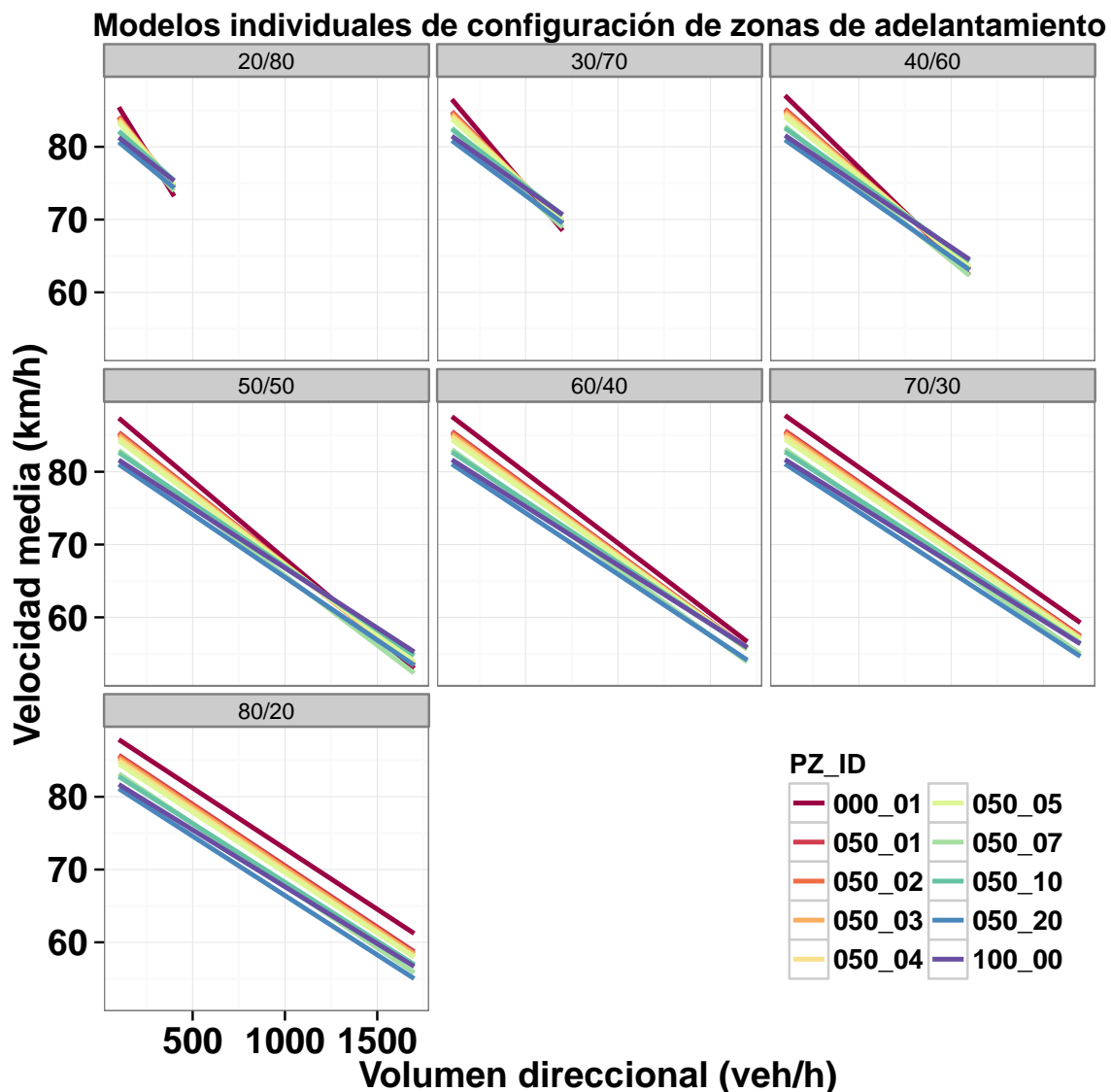


Figura 11.2: Comparación de la velocidad media de la simulación y la estimación del modelo en la configuración 000-01

Con el fin de visualizar los resultados, se ha generado la Figura 11.3. En ella se ha variado el volumen direccional y se ha calculado el volumen opuesto en función del reparto correspondiente. Posteriormente, se ha calculado la velocidad media aplicando las ecuaciones de la Tabla 11.3. Para facilitar el análisis únicamente se han incluido configuraciones simétricas y vehículos ligeros.

Se puede observar que al aumentar el volumen direccional se reduce la velocidad media, independientemente del reparto o la configuración de las zonas de adelantamiento, aunque la reducción de velocidad es menor en escenarios con reparto favorable. Por otro lado, la configuración de zonas de adelantamiento también produce un efecto sobre la velocidad media. El modelo correspondiente a la



**Figura 11.3:** Estimación de la velocidad media en función del volumen direccional, reparto y configuración de zonas de adelantamiento simétrica

configuración donde se puede adelantar en toda la longitud (000-01) estima una velocidad media superior a la de las restantes configuraciones. Es más, aumentar la longitud de zona de adelantamiento mejora la estimación de velocidad media, independientemente del reparto.

No obstante, en las zonas cortas (050-10, 050-20) este comportamiento no se mantiene en todos los volúmenes direccionales, puesto que a partir de un volumen direccional las zonas cortas presentan mejores estimaciones. Este hecho se puede deber a que al reducir las posibilidades de adelantamiento, pero aumentar la demanda de adelantamiento, los vehículos tienden a acelerar al habilitarse un hueco pero posteriormente deben frenar al evaluarlo y comprobar que no es viable el adelantamiento o abortar la maniobra. En los escenarios donde está muy limitado el adelantamiento, o incluso prohibido, no se producirá el efecto, manteniendo una velocidad constante de seguimiento. Un efecto similar de aceleración-deceleración durante el seguimiento también se observó durante las pruebas experimentales, pero con menor número de maniobras abortadas.

### 11.2.2 Porcentaje de tiempo en cola

Al igual que con la velocidad media, se han propuesto distintas formas funcionales según los modelos estudiados en el Capítulo 3. En esta medida de desempeño se han considerado cuatro formas funcionales, tres modelos no lineales y un modelo lineal (Tabla 11.4).

Modelo	Ecuación
M4	$PTSF = 100 (1 - e^{-a V_d^b})$
M5	$PTSF = 100 (1 - e^{-a V_d + b \sqrt{V_o}})$
M6	$PTSF = V_d^a e^{b-c V_d}$
M7	$PTSF = b_1 \ln(V_d) + b_2 \ln(V_o) + b_3 HV_d + b_4 \ln(V_d) \ln(V_o) + b_5 \ln(V_d) HV_d$

**Tabla 11.4:** Porcentaje de tiempo en cola - Modelos funcionales para la configuración individual

En los modelos no lineales del HCM 2010 y de Maldonado et al. (2012), los coeficientes no son constantes y dependen del volumen opuesto. Con el fin de introducirlo en un único modelo y así no segmentar la muestra considerablemente, se han modelizado los coeficientes en función del volumen opuesto. Las funciones ajustadas para los parámetros  $a, b$  del HCM 2010, al igual que para los parámetros  $a, b, c$  de Maldonado et al. (2012) se muestran en la Tabla 11.5.

Función	Pseudo $R^2$				
	HCM EEUU		Maldonado et al. (2012)		
	a	b	a	b	c
f1: $a = a_0 + a_1 V_o$	95.3	78.1	38.3	44.7	63.4
f2: $a = a_0 + a_1 V_o + a_2 \ln(V_o)$	98.5	97.7	93.3	96.4	67.6
f3: $a = a_0 + a_1 V_o + a_3 V_o^2$	99.3	98.0	89.4	90.3	63.4
f4: $a = a_0 + a_1 V_o + a_2 \ln(V_o) + a_3 V_o^2$	99.4	98.4	94.1	96.7	88.1

**Tabla 11.5:** Resultado del ajuste de los modelos funcionales de los parámetros del porcentaje de tiempo en cola

A pesar de que los mejores ajustes para el modelo del HCM 2010 se han producido para la función f4, los coeficientes no son significativos, luego se descarta. Dado que la diferencia entre las funciones f2 y f3 es muy escasa, se han considerado las dos porque el ajuste de los parámetros se debe realizar con los datos de campo en lugar de con los coeficientes de ajuste del propio manual. En el caso del modelo de Maldonado et al. (2012), las funciones de los coeficientes corresponden con la función f2. Así, se ha contado con 4 modelos no lineales (4-1, 4-2, 5 y 6) y un modelo lineal (7).

Tras determinar las funciones de los parámetros, se han ajustado los modelos M4-1, M4-2, M5 y M6 mediante una regresión no lineal. Los parámetros  $a_i, b_i$  se estiman por mínimos cuadrados, a partir de un listado inicial de parámetros. Este vector inicial de parámetros es importante porque puede encontrar un óptimo local en lugar del óptimo global. En este caso, se han tomado como valores iniciales los correspondientes al ajuste con los coeficientes  $a, b$  del HCM 2010 y los coeficientes  $a, b, c$  del modelo argentino. El modelo M-7, por su parte, se ha ajustado con modelos lineales.

Para determinar la forma funcional que mejor se ajusta en todos los casos, se han ejecutado los cuatro modelos no lineales en las 19 configuraciones y las 32 combinaciones de modelo lineal en cada configuración, con un total de 684 modelos. El modelo lineal que mejor se ha ajustado a los datos es el modelo lineal con el volumen direccional, el volumen opuesto y su interacción, y es el que se incluye en la tabla comparativa (Tabla D.44).

La correlación del modelo lineal con el porcentaje de tiempo en cola es peor que con los modelos no lineales M4-1, M4-2 y M6. Concretamente, el modelo M4-1, con la forma funcional del HCM 2010 es el que produce mejores resultados en prácticamente todas las configuraciones, seguido del modelo M6. Finalmente, la forma funcional de Finlandia (M-5) es la que peor se ajusta a los datos.

Así, la estimación del  $PTSF$  se realiza con la Ecuación 11.1.

$$PTSF = 100 (1 - e^{-a V_d^b}) \quad (11.1)$$

Configuración	Óptimo		M4-1		M4-2		M5		M6		M7	
	Modelo	AIC	$\Delta AIC$	cor (%)	$\Delta AIC$	cor (%)	$\Delta AIC$	cor (%)	$\Delta AIC$	cor (%)	$\Delta AIC$	cor (%)
za000_01	M6	113444	272	98	472	98	17375	96	0	98	3876	98
za050_01	M4-1	110791	0	98	74	98	7503	97	83	98	1991	98
za050_012	M6	110643	178	98	154	98	8097	97	0	98	3646	98
za050_013	M6	113083	125	97	0	97	3020	97	132	97	684	97
za050_02	M6	111239	118	98	172	98	6461	97	0	98	1697	98
za050_022	M4-1	108748	0	98	31	98	4015	98	62	98	1547	98
za050_023	M6	108219	37	98	0	98	7380	98	148	98	2921	98
za050_024	M4-1	115710	0	97	142	97	3929	96	388	97	1894	97
za050_025	M4-1	108509	0	98	83	98	5862	98	81	98	1542	98
za050_026	M4-1	114904	0	97	317	97	4846	96	419	97	1683	97
za050_03	M6	111643	103	98	247	98	5757	97	0	98	1664	98
za050_04	M6	111201	171	98	198	98	4377	97	0	98	1174	98
za050_042	M6	108668	2	98	97	98	4190	98	0	98	1025	98
za050_05	M6	109000	175	98	187	98	3382	98	0	98	491	98
za050_07	M4-1	109451	0	98	11	98	3222	97	58	98	781	97
za050_10	M4-1	109692	0	97	52	97	7116	97	231	97	465	97
za050_102	M4-1	108459	0	97	78	97	8525	97	229	97	1297	97
za050_20	M4-1	109286	0	97	67	97	10768	96	290	97	1055	97
za100_00	M6	113213	14	97	0	97	8861	96	139	97	351	97

**Tabla 11.6:** Comparación del ajuste de modelos funcionales del porcentaje de tiempo en cola

Donde:

- $PTSF$ : porcentaje de tiempo en cola en la configuración base (%).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $a$ : coeficiente obtenido a partir de  $V_o$ , con la ecuación de la Tabla 11.7.
- $b$ : coeficiente obtenido a partir de  $V_o$ , con la ecuación de la Tabla 11.8.
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).

Configuración	$a$	Cor (%)	Error residual estandard
000_01	$a = -2,12 \times 10^{-3} - 3,48 \times 10^{-5} V_o + 6,15 \times 10^{-4} \ln(V_o)$	98.0	4.84
050_01	$a = 4,76 \times 10^{-4} - 2,47 \times 10^{-5} V_o - 5,98 \times 10^{-4} \ln(V_o)$	98.0	4.38
050_012	$a = 3,54 \times 10^{-4} - 1,82 \times 10^{-5} V_o - 6,02 \times 10^{-4} \ln(V_o)$	98.1	4.39
050_013	$a = -2,25 \times 10^{-4} - 1,86 \times 10^{-5} V_o - 1,65 \times 10^{-3} \ln(V_o)$	97.4	4.67
050_02	$a = 1,92 \times 10^{-3} - 2,24 \times 10^{-5} V_o - 1,05 \times 10^{-3} \ln(V_o)$	98.0	4.46
050_022	$a = 1,98 \times 10^{-3} - 2,12 \times 10^{-5} V_o - 1,60 \times 10^{-3} \ln(V_o)$	98.0	4.12
050_023	$a = -2,78 \times 10^{-5} - 2,34 \times 10^{-5} V_o - 2,93 \times 10^{-4} \ln(V_o)$	98.3	4.08
050_024	$a = -1,76 \times 10^{-3} - 2,41 \times 10^{-5} V_o - 3,84 \times 10^{-4} \ln(V_o)$	97.0	4.98
050_025	$a = 1,24 \times 10^{-3} - 2,49 \times 10^{-5} V_o - 8,32 \times 10^{-4} \ln(V_o)$	98.1	4.11
050_026	$a = -4,21 \times 10^{-3} - 2,53 \times 10^{-5} V_o - 1,46 \times 10^{-4} \ln(V_o)$	97.0	4.86
050_03	$a = 2,52 \times 10^{-3} - 2,27 \times 10^{-5} V_o - 1,21 \times 10^{-3} \ln(V_o)$	97.9	4.48
050_04	$a = 3,07 \times 10^{-3} - 2,06 \times 10^{-5} V_o - 1,61 \times 10^{-3} \ln(V_o)$	97.8	4.42
050_042	$a = 3,77 \times 10^{-3} - 2,37 \times 10^{-5} V_o - 1,86 \times 10^{-3} \ln(V_o)$	98.0	4.18
050_05	$a = 2,38 \times 10^{-3} - 1,94 \times 10^{-5} V_o - 1,65 \times 10^{-3} \ln(V_o)$	97.9	4.21
050_07	$a = 1,75 \times 10^{-3} - 1,94 \times 10^{-5} V_o - 2,29 \times 10^{-3} \ln(V_o)$	97.6	4.28
050_10	$a = -5,68 \times 10^{-3} - 1,07 \times 10^{-5} V_o - 1,34 \times 10^{-3} \ln(V_o)$	97.4	4.26
050_102	$a = -4,00 \times 10^{-3} - 1,55 \times 10^{-5} V_o - 1,77 \times 10^{-3} \ln(V_o)$	97.5	4.13
050_20	$a = -1,21 \times 10^{-2} - 1,12 \times 10^{-5} V_o - 1,30 \times 10^{-3} \ln(V_o)$	97.1	4.23
100_00	$a = -1,55 \times 10^{-2} - 4,06 \times 10^{-6} V_o - 1,12 \times 10^{-3} \ln(V_o)$	96.6	4.62

Donde el porcentaje de tiempo en cola:  $PTSF = 100(1 - e^{aV_d^b})$

**Tabla 11.7:** Parámetro  $a$  para el cálculo del porcentaje de tiempo en cola

El parámetro  $a$ , para cada configuración es el recogido en la Tabla 11.7. En la Tabla 11.8 se recoge el parámetro  $b$ . En todos los casos, la correlación con los datos es muy elevada, entre el 96.6 y 98.3%, siendo mayor en los escenarios donde la longitud de las zonas de adelantamiento es elevada. El resumen estadístico de cada modelo se encuentra en la Sección D.3.2 del Anexo D.

Configuración	b	Correlación (%)	Error residual estandard
000_01	$b = 1,33 - 2,23 \times 10^{-5} V_o - 1,00 \times 10^{-1} \ln(V_o)$	98.0	4.84
050_01	$b = 1,19 - 3,67 \times 10^{-5} V_o - 7,51 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	98.0	4.38
050_012	$b = 1,20 - 1,63 \times 10^{-5} V_o - 7,46 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	98.1	4.39
050_013	$b = 0,87 - 7,47 \times 10^{-5} V_o - 2,36 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	97.4	4.67
050_02	$b = 1,15 - 3,88 \times 10^{-5} V_o - 6,83 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	98.0	4.46
050_022	$b = 1,08 - 3,07 \times 10^{-5} V_o - 6,02 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	98.0	4.12
050_023	$b = 1,40 - 2,23 \times 10^{-6} V_o - 1,07 \times 10^{-1} \ln(V_o)$	98.3	4.08
050_024	$b = 1,32 - 1,29 \times 10^{-5} V_o - 9,63 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	97.0	4.98
050_025	$b = 1,26 - 2,12 \times 10^{-5} V_o - 8,79 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	98.1	4.11
050_026	$b = 1,22 - 3,52 \times 10^{-5} V_o - 7,96 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	97.0	4.86
050_03	$b = 1,16 - 3,79 \times 10^{-5} V_o - 6,99 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	97.9	4.48
050_04	$b = 1,08 - 4,42 \times 10^{-5} V_o - 5,81 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	97.8	4.42
050_042	$b = 1,17 - 3,25 \times 10^{-5} V_o - 6,73 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	98.0	4.18
050_05	$b = 1,06 - 4,20 \times 10^{-5} V_o - 5,59 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	97.9	4.21
050_07	$b = 1,00 - 3,12 \times 10^{-5} V_o - 5,22 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	97.6	4.28
050_10	$b = 0,91 - 2,60 \times 10^{-5} V_o - 3,41 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	97.4	4.26
050_102	$b = 0,98 - 2,35 \times 10^{-5} V_o - 4,71 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	97.5	4.13
050_20	$b = 0,83 - 2,73 \times 10^{-5} V_o - 2,55 \times 10^{-2} \ln(V_o)$	97.1	4.23
100_00	$b = 0,73 - 1,67 \times 10^{-5} V_o - 9,51 \times 10^{-3} \ln(V_o)$	96.6	4.62

Donde el porcentaje de tiempo en cola:  $PTSF = 100(1 - e^{-aV_d^b})$

Tabla 11.8: Parámetro b para el cálculo del porcentaje de tiempo en cola

En la Figura 11.4 se muestra el ajuste del modelo con los datos de la simulación, para la configuración 000-01. Se puede observar el buen ajuste en todo el rango de volumen direccional y para todos los repartos. En las restantes configuraciones se producen idénticos resultados.

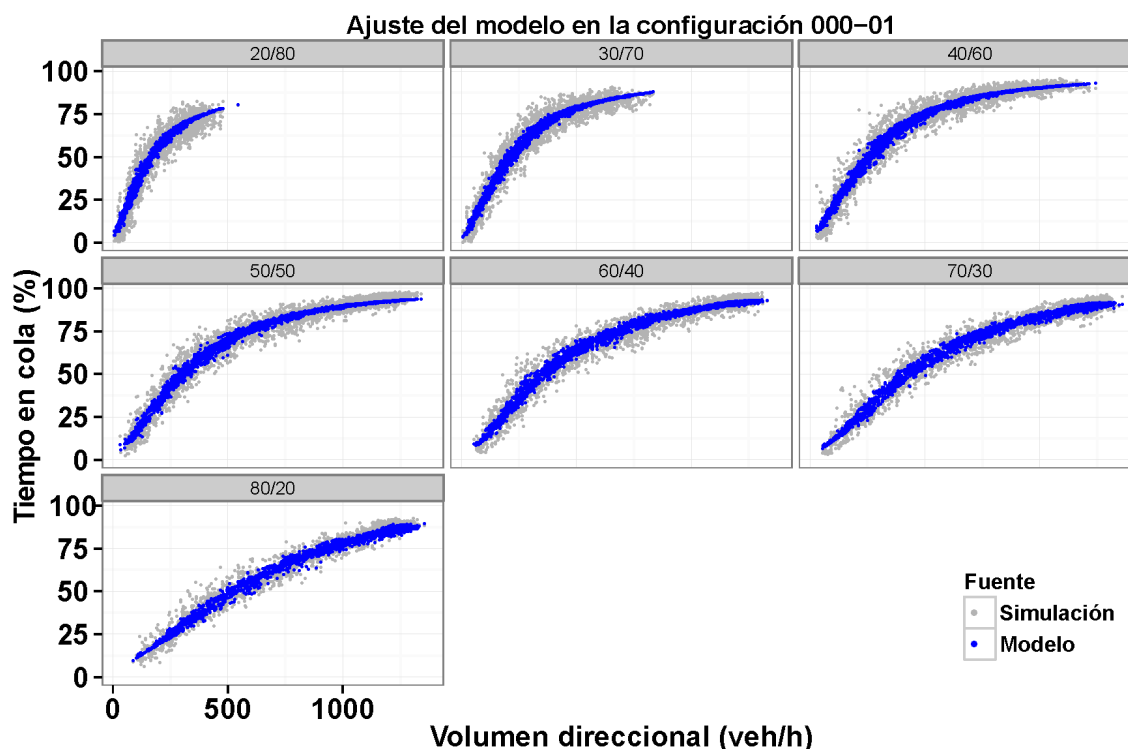
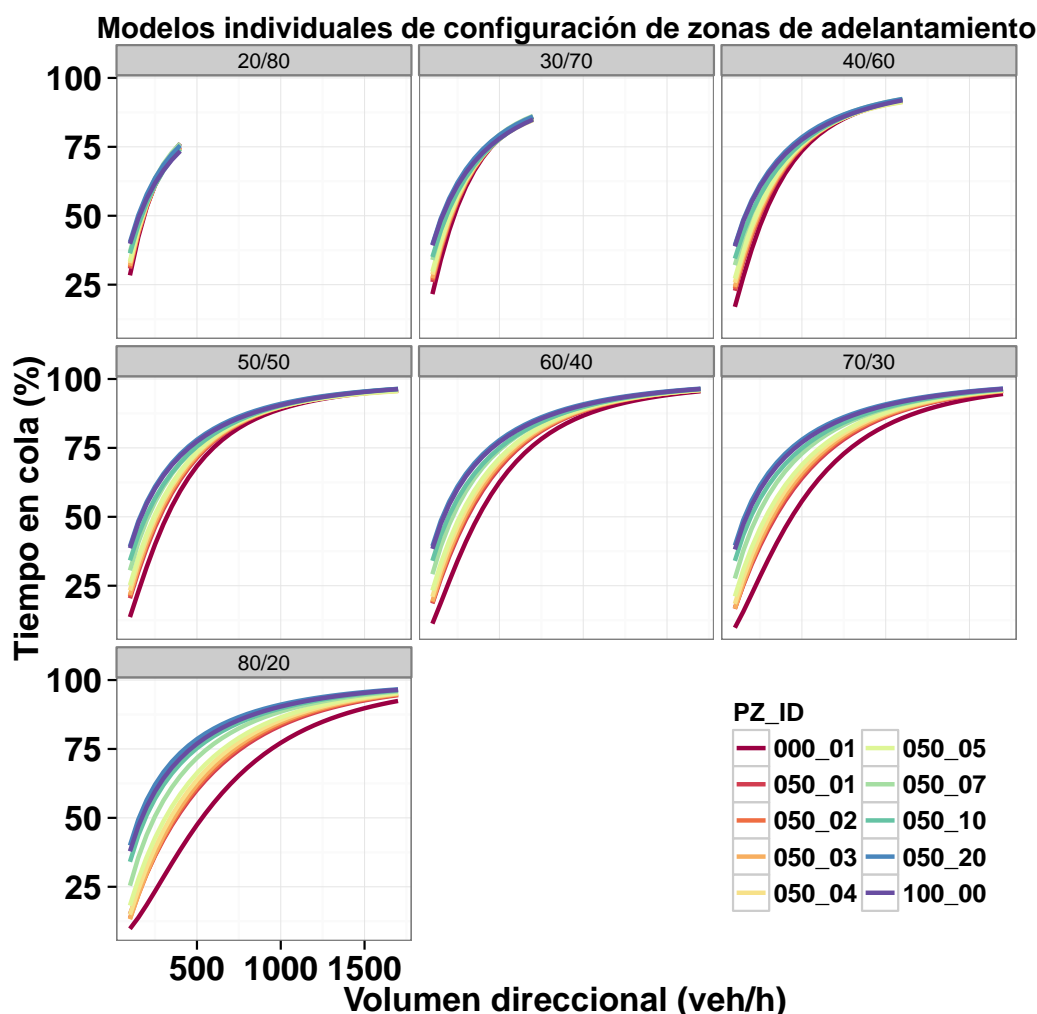


Figura 11.4: Comparación del porcentaje de tiempo en cola de la simulación y la estimación del modelo en la configuración 000-01

Al igual que con la velocidad media, se ha representado la estimación del porcentaje de tiempo en cola en las configuraciones simétricas, variando el volumen direccional y el reparto (Figura 11.5).

Dada una configuración de zonas de adelantamiento, el porcentaje de tiempo en cola aumenta al incrementar el volumen direccional y se ve penalizado en repartos menos favorables. Por ejemplo,



**Figura 11.5:** Estimación del porcentaje de tiempo en cola en función del volumen direccional, reparto y configuración de zonas de adelantamiento

en la configuración 000-01 (adelantamiento no restringido), el porcentaje de tiempo en cola para volumen direccional de 500 veh/h se reduce del 80 % al 70 % al variar el reparto de 30/70 a 50/50. En reparto 80/20, el porcentaje de tiempo en cola con igual volumen es del 50 %.

El porcentaje de tiempo en cola aumenta con la restricción de adelantamiento permitido. El escenario con un mejor resultado es el que permite el adelantamiento en toda su longitud (000-01), seguido de los escenarios con zonas de adelantamiento más largas, para igual porcentaje de zona de adelantamiento no permitido. Las diferencias entre los escenarios son mayores al mejorar el reparto.

No obstante, las diferencias no son lineales con la longitud media de las zonas. Se pueden establecer cuatro grupos en función de la longitud, con un comportamiento similar: zonas muy cortas (250 m); zonas cortas-medias (500, 714 y 1000 m); zonas medias-largas (1250, 1670 m) y zonas muy largas (2500 y 5000 m). En las zonas muy cortas, el porcentaje de tiempo en cola es similar a la configuración donde no se permite el adelantamiento en toda la longitud. Es decir, no produce una mejora significativa en la medida de desempeño. A partir de dicho punto, el comportamiento comienza a mejorar y se asemeja más a la configuración sin restricciones de adelantamiento. Por tanto, se confirma que la longitud media de las zonas de adelantamiento debe considerarse para la estimación del porcentaje de tiempo en cola, además del propio porcentaje de zona de adelantamiento no permitido.



### 11.2.3 Adelantamientos

Además de las medidas de desempeño del HCM 2010, se ha caracterizado el número de adelantamientos. Se ha considerado la distribución binomial negativa ya que se trata de una variable entera, de números positivos, con sobredispersión. Se han definido tres modelos funcionales (Tabla 11.9).

Modelo	Ecuación
M8	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c H V_d + d H V_o + e V_d V_o + f V_d H V_d}$
M9	$Ad = V_d^a V_o^b e^{c H V_d + d H V_o + e V_d V_o + f V_d H V_d}$
M10	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o}$

**Tabla 11.9:** Adelantamientos - Modelos funcionales para la configuración individual

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos en la configuración base (ad/15 min).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $HV_d$ : porcentaje de vehículos pesados (%).
- $a, b, c, d, e, f$ : coeficientes de la regresión.

Para cada modelo, se han considerado todas las combinaciones de variables independientes que incluyen el volumen direccional y se han ordenado según su AIC (Sección D.2.3 del Anexo D). Se han resuelto mediante modelos de regresión binomial negativa. En total se han ejecutado 1520 modelos, para las 19 configuraciones de zonas de adelantamiento.

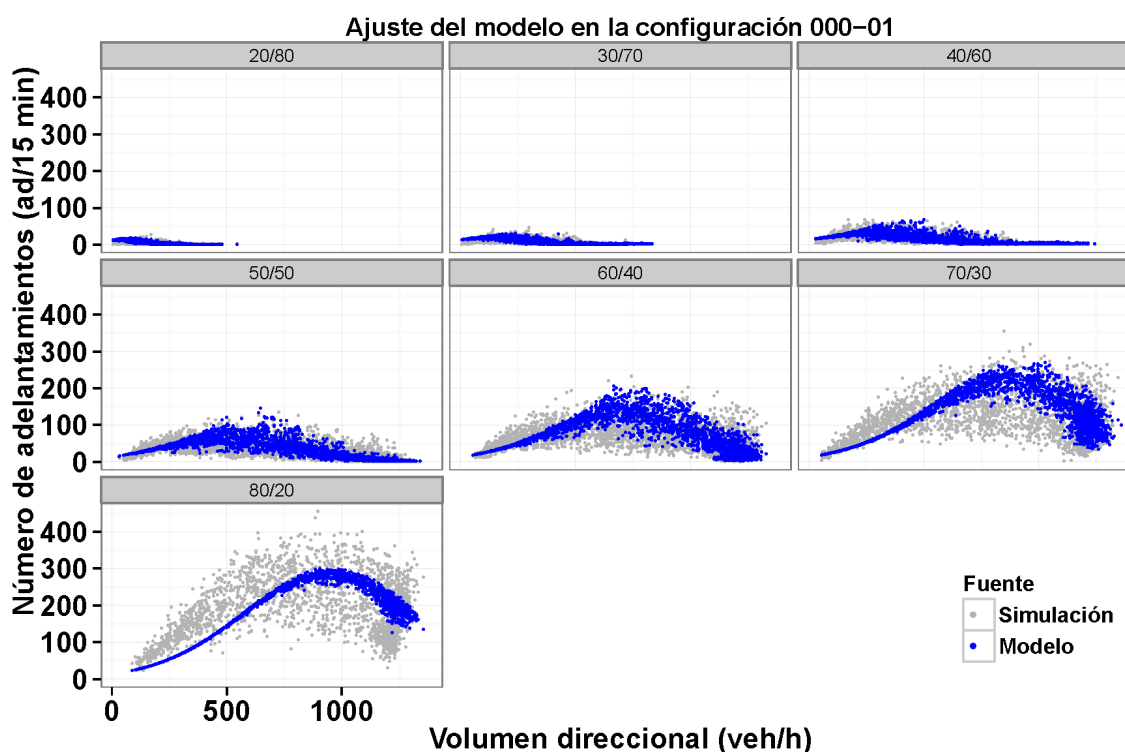
El modelo funcional que mejor se ajusta a los datos en todas las configuraciones es el M10, que incluye el volumen direccional y opuesto, y sus cuadrados.

Los modelos resultantes en cada configuración se muestran en la Tabla 11.10 y su resumen estadístico está en la Sección D.3.3 del Anexo D.

Configuración	Ecuación	Correlación (%)	Pseudo $R^2$
000_01	$Ad = e^{2.47+0.0066 V_d+7.0 \times 10^{-6} V_o-3.45 \times 10^{-6} V_d^2-3.85 \times 10^{-6} V_o^2+8.64 \times 10^{-7} V_d V_o}$	87.7	61.2
050_01	$Ad = e^{2.14+0.0057 V_d+0.00073 V_o-3.05 \times 10^{-6} V_d^2-4.57 \times 10^{-6} V_o^2-8.65 \times 10^{-7} V_d V_o}$	86.8	59.5
050_012	$Ad = e^{1.73+0.0063 V_d+0.0024 V_o-3.23 \times 10^{-6} V_d^2-4.90 \times 10^{-6} V_o^2+3.08 \times 10^{-7} V_d V_o}$	86.9	56.5
050_013	$Ad = e^{2.42+0.0052 V_d-0.0014 V_o-2.55 \times 10^{-6} V_d^2-2.30 \times 10^{-6} V_o^2-2.52 \times 10^{-7} V_d V_o}$	86.2	58.0
050_02	$Ad = e^{2.06+0.0059 V_d+0.00043 V_o-3.17 \times 10^{-6} V_d^2-3.96 \times 10^{-6} V_o^2+5.16 \times 10^{-7} V_d V_o}$	87.2	56.4
050_022	$Ad = e^{2.10+0.0054 V_d+0.00097 V_o-2.72 \times 10^{-6} V_d^2-3.45 \times 10^{-6} V_o^2+1.31 \times 10^{-7} V_d V_o}$	88.6	46.7
050_023	$Ad = e^{2.11+0.0055 V_d+0.0018 V_o-2.88 \times 10^{-6} V_d^2-4.17 \times 10^{-6} V_o^2+2.87 \times 10^{-8} V_d V_o}$	86.9	48.8
050_024	$Ad = e^{1.15+0.0051 V_d+0.0033 V_o-2.96 \times 10^{-6} V_d^2-5.11 \times 10^{-6} V_o^2+3.74 \times 10^{-7} V_d V_o}$	54.5	49.1
050_025	$Ad = e^{2.20+0.0052 V_d+0.00103 V_o-2.67 \times 10^{-6} V_d^2-3.70 \times 10^{-6} V_o^2-4.44 \times 10^{-8} V_d V_o}$	86.6	50.0
050_026	$Ad = e^{1.35+0.0047 V_d+0.0024 V_o-2.95 \times 10^{-6} V_d^2-4.57 \times 10^{-6} V_o^2+5.03 \times 10^{-7} V_d V_o}$	44.7	59.6
050_03	$Ad = e^{2.01+0.0059 V_d+0.00025 V_o-3.23 \times 10^{-6} V_d^2-3.83 \times 10^{-6} V_o^2+5.81 \times 10^{-7} V_d V_o}$	87.1	54.8
050_04	$Ad = e^{1.95+0.0058 V_d+0.00024 V_o-3.15 \times 10^{-6} V_d^2-3.67 \times 10^{-6} V_o^2+5.46 \times 10^{-7} V_d V_o}$	86.5	52.7
050_042	$Ad = e^{1.95+0.0058 V_d+0.00058 V_o-2.77 \times 10^{-6} V_d^2-3.33 \times 10^{-6} V_o^2+2.43 \times 10^{-7} V_d V_o}$	87.9	45.9
050_05	$Ad = e^{1.81+0.0055 V_d+0.00039 V_o-3.02 \times 10^{-6} V_d^2-3.68 \times 10^{-6} V_o^2+5.62 \times 10^{-7} V_d V_o}$	85.7	49.5
050_07	$Ad = e^{1.41+0.0056 V_d+0.0095 V_o-3.07 \times 10^{-6} V_d^2-3.60 \times 10^{-6} V_o^2+3.50 \times 10^{-7} V_d V_o}$	85.5	41.5
050_10	$Ad = e^{0.244+0.0047 V_d+0.0030 V_o-2.55 \times 10^{-6} V_d^2-4.65 \times 10^{-6} V_o^2+1.50 \times 10^{-7} V_d V_o}$	67.3	35.7
050_102	$Ad = e^{0.386+0.0047 V_d+0.0027 V_o-2.67 \times 10^{-6} V_d^2-4.32 \times 10^{-6} V_o^2+1.37 \times 10^{-7} V_d V_o}$	67.8	32.3
050_20	$Ad = e^{-1.15+0.0040 V_d+0.0052 V_o-2.83 \times 10^{-6} V_d^2-5.73 \times 10^{-6} V_o^2+6.66 \times 10^{-7} V_d V_o}$	32.1	49.1

**Tabla 11.10:** Resumen de modelos de número de adelantamientos en función de la configuración

En la Figura 11.6 se muestra el ajuste del modelo con los datos de la simulación, para la configuración 000-01. El ajuste es bueno, especialmente en repartos menos favorables. La dispersión de la variable



**Figura 11.6:** Comparación del número de adelantamientos de la simulación y la estimación del modelo en la configuración 000-01

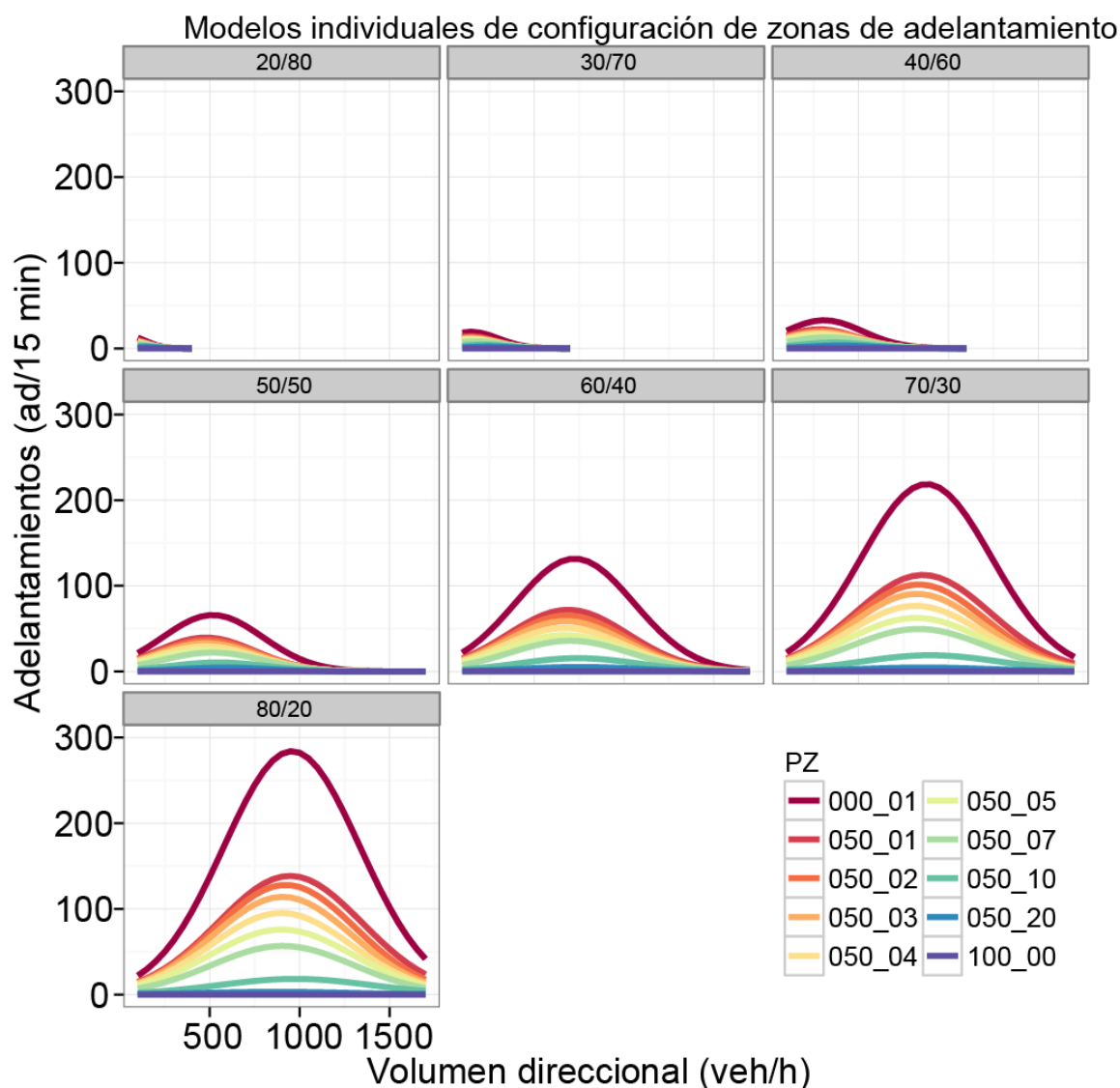
aumenta al mejorar el reparto. En repartos superiores a 70/30, el modelo se encuentra en la banda inferior de las simulaciones, si bien al aumentar el volumen direccional se coloca en la franja media. Se puede observar igual ajuste en las restantes configuraciones.

La correlación es mayor en los escenarios con longitud de adelantamiento elevada, contenida entre el 85.7 % y 88.6 %, en comparación con las zonas cortas donde la correlación decrece al 67 % y al 32.1 % en zonas muy cortas. No obstante, el pseudo  $R^2$  es bastante inferior, entre el 32 y 61 %. Igualmente, el pseudo  $R^2$  es mayor en la configuración con el adelantamiento permitido en toda su longitud, frente a las restantes configuraciones. El valor del pseudo  $R^2$  tiene un orden de magnitud similar a las observaciones. El resumen estadístico de cada modelo se encuentra en la Sección D.3.3 del Anexo D.

Con el fin de visualizar los resultados, se ha generado la Figura 11.7. Para facilitar el análisis únicamente se han incluido configuraciones simétricas.

Se puede observar que existe un volumen direccional que maximiza el número de adelantamientos, en todas las configuraciones y repartos. El valor que optimiza los adelantamientos depende del reparto, de tal forma que en repartos menos favorables, dicho óptimo se sitúa en 300 veh/h para repartos 40/60, mientras que aumenta hasta 500 veh/h para repartos 50/50 y 800 veh/h en el caso de repartos 70/30. Estas conclusiones son algo superiores a las proporcionadas en los modelos para flujos compensados desarrollados a partir exclusivamente de datos de campo. Este valor también depende ligeramente de la configuración de zonas de adelantamiento, que puede deberse a que cada una de las zonas se ha representado con su propio modelo. No obstante, la gran semejanza entre los volúmenes óptimos corrobora la idoneidad de los modelos desarrollados.

Por otro lado, el número de adelantamientos máximo depende tanto del reparto como de la longitud media de las zonas de adelantamiento. En el escenario donde no existen restricciones al adelantamiento (000-01) el número máximo de adelantamientos varía de 19 a 284, para repartos 30/70 y 80/20, respectivamente. Este número se reduce al disminuir la longitud media de las zonas de adelantamiento, aunque no de forma lineal (Tabla 11.13).



**Figura 11.7:** Estimación del número de adelantamientos en función del volumen direccional, reparto y configuración de zonas de adelantamiento

Reparto	Número máximo de adelantamientos (ad/15 min)
30/70	19
40/60	32
50/50	65
60/40	131
70/30	218
80/20	284

**Tabla 11.11:** Número de adelantamientos en función del reparto en la configuración 000-01

Se confirma que las zonas muy cortas no producen un elevado número de adelantamientos y difieren poco de la configuración con total restricción al adelantamiento (100-00). En esta configuración, también aumenta el volumen direccional que optimiza el número de adelantamientos.

Finalmente, a pesar de que el número de adelantamientos se ve considerablemente influenciado por el reparto y la configuración de las zonas, no se traduce en una mejora igual en las otras dos medidas

de desempeño. Tanto en la velocidad media como en el porcentaje de tiempo en cola existe una influencia del reparto y las zonas de adelantamiento, si bien no se reducen hasta la mitad. Además, la agrupación en función de la longitud de la zona de adelantamiento es menos notable.

### 11.3 Estimación del número de adelantamientos

En esta Sección se va a desarrollar un modelo de estimación del número de adelantamientos en función de la configuración de las zonas de adelantamiento. Como en la configuración 100-00 no existen adelantamientos, se ha excluido del análisis. Así, se han considerado las configuraciones con un 0 % y 50 % de adelantamiento no permitido.

#### 11.3.1 Configuraciones simétricas

En primer lugar se ha desarrollado un modelo de estimación considerando las nueve configuraciones simétricas con adelantamiento permitido. La longitud media de las zonas de adelantamiento varía entre 250 y 10000 m.

A partir de la forma funcional que mejor se ajusta a las configuraciones individuales se han desarrollado nuevas formas que incluyen la longitud media de las zonas de adelantamiento, en su forma natural y transformada. Los modelos funcionales se muestran en la Tabla 11.12. Además de la longitud media se ha incluido su interacción con el volumen direccional y el cuadrado del volumen direccional. Por tanto, se han estudiado 15 modelos.

Modelo	Ecuación
M1-1	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + f L_{za}}$
M1-2	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + f L_{za} + g V_d L_{za}}$
M1-3	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + f L_{za} + g V_d^2 L_{za}}$
M2-1	$Ad = L_{za}^a e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o}$
M2-2	$Ad = L_{za}^a e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + g V_d L_{za}}$
M2-3	$Ad = L_{za}^a e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + g V_d^2 L_{za}}$
M3-1	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + f \sqrt{L_{za}}}$
M3-2	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + f \sqrt{L_{za}} + g V_d L_{za}}$
M3-3	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + f \sqrt{L_{za}} + g V_d^2 L_{za}}$
M4-1	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + f \sqrt[3]{L_{za}}}$
M4-2	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + f \sqrt[3]{L_{za}} + g V_d L_{za}}$
M4-3	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + f \sqrt[3]{L_{za}} + g V_d^2 L_{za}}$
M5-1	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + f \sqrt[4]{L_{za}}}$
M5-2	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + f \sqrt[4]{L_{za}} + g V_d L_{za}}$
M5-3	$Ad = e^{a V_d + b V_o + c V_d^2 + d V_o^2 + e V_d V_o + f \sqrt[4]{L_{za}} + g V_d^2 L_{za}}$

**Tabla 11.12:** Adelantamientos - Modelos funcionales para el modelo global

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos en la configuración base (ad/15 min).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $L_{za}$ : longitud media de las zonas de adelantamiento (m).
- $a, b, c, d, e, f, g$ : coeficientes de la regresión.

Los coeficientes de los modelos se han obtenido aplicando modelos de regresión binomial negativa entre la variable dependiente y las variables independientes. En la Sección D.4.3 del Anexo D se encuentran las tablas resumen de los 15 modelos.

El modelo funcional que mejor se ajusta a los datos es el M2. Al incorporar en el modelo la interacción de la longitud y el volumen direccional los resultados prácticamente no mejoran, por lo que se selecciona el modelo M2-1, más simple y que incluye menor número de variables (Ecuación 11.2).

$$Ad = L_{za}^{0,599} e^{-2,71+5,64 \times 10^{-3} V_d+7,56 \times 10^{-4} V_o-3,07 \times 10^{-6} V_d^2-3,94 \times 10^{-6} V_o^2+5,67 \times 10^{-7} V_d V_o} \quad (11.2)$$

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos en el segmento de 10 km (ad/15 min).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $L_{za}$ : longitud media de las zonas de adelantamiento (m).

Este modelo presenta un pseudo  $R^2$  del 69.00 %, que es algo superior al pseudo  $R^2$  que producían cada una de las configuraciones individualmente. Igualmente, se ha calculado la correlación entre los datos simulados y estimados. La correlación entre los escenarios y la estimación del modelo es elevada, del 87.1 %, similar a la de las configuraciones individuales (Sección D.4.3 del Anexo D). Por tanto, se puede considerar un buen ajuste.

En la Figura 11.8 se ha representado el modelo. El número de adelantamientos se maximiza en un rango de volumen direccional, entre 200 y 850 veh/h. El volumen direccional óptimo depende del reparto y aumenta a medida que es más favorable. Por ejemplo, en reparto 30/70 el volumen que maximiza los adelantamientos es 250 veh/h, mientras que en reparto compensado es de 500 veh/h y en 70/30 es de 850 veh/h. Estos valores son ligeramente superiores a los obtenidos en los modelos correspondientes a las configuraciones individuales.

Además, el rango de volumen direccional óptimo deja de depender de la longitud media de las zonas de adelantamiento y es constante, dado un reparto, lo cual también es consistente con la ínfima variación de dicho óptimo en las configuraciones individuales.

Al igual que en la caracterización individual, el número de adelantamientos máximo depende del reparto y la longitud media de las zonas de adelantamiento. Este modelo predice mayores diferencias entre las configuraciones 050-01 y 050-02 que sus modelos individuales, y también sobreestima el número de adelantamientos en las configuraciones con menor longitud media. No obstante, la estimación en las restantes configuraciones es muy similar al del modelo individual propio, produciendo un pseudo  $R^2$  global del 69 %.

Como la influencia de la longitud media de las zonas de adelantamiento se traduce en un multiplicador al número de adelantamientos base, se ha calculado la proporción de dicho multiplicador respecto de la configuración sin restricción de adelantamiento. Así, al reducirse la longitud media de las zonas de adelantamiento a 250 m, se producen el 11 % de los adelantamientos que se producirían en la configuración 000-01 (Tabla 11.13).

Finalmente, se ha calculado la diferencia entre la estimación y el valor real. Las diferencias medias son mayores al mejorar el reparto, puesto que con repartos desfavorables, inferiores a 50/50, la diferencia media es inferior a 2 adelantamientos/15 min. No obstante, este valor es superior al mejorar el reparto, encontrándose diferencias medias de hasta 90 adelantamientos en la configuración 000-01 con flujos medios. Esta configuración presenta las mayores diferencias medias, aunque también es la que tiene una mayor dispersión. En consecuencia, el ajuste de los datos es aceptable.

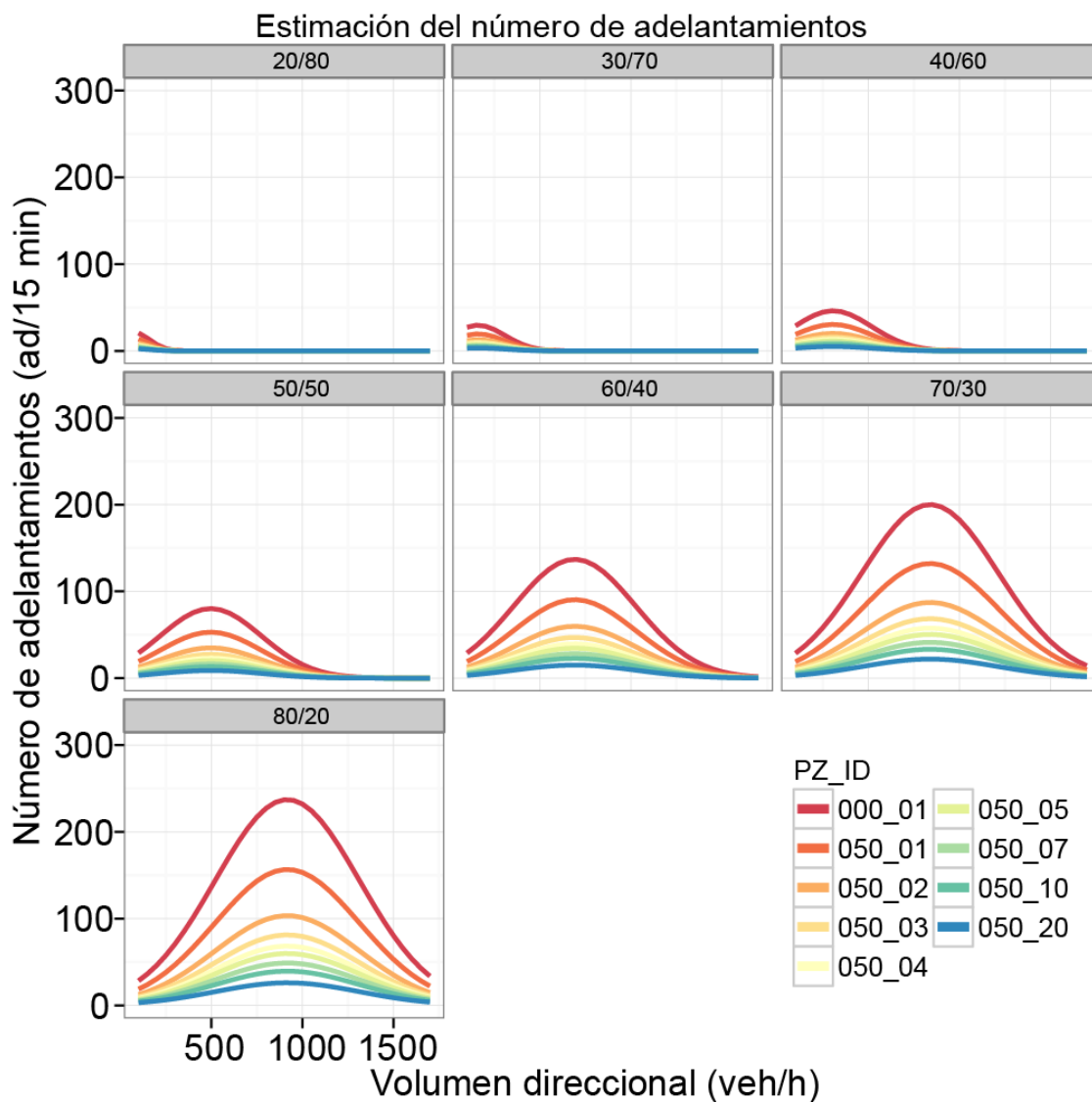


Figura 11.8: Estimación del número de adelantamientos en las configuraciones simétricas

Longitud media ZA (m)	% de adelantamientos
10000	100
5000	66
2500	43
1670	34
1250	29
1000	25
714	21
500	17
250	11

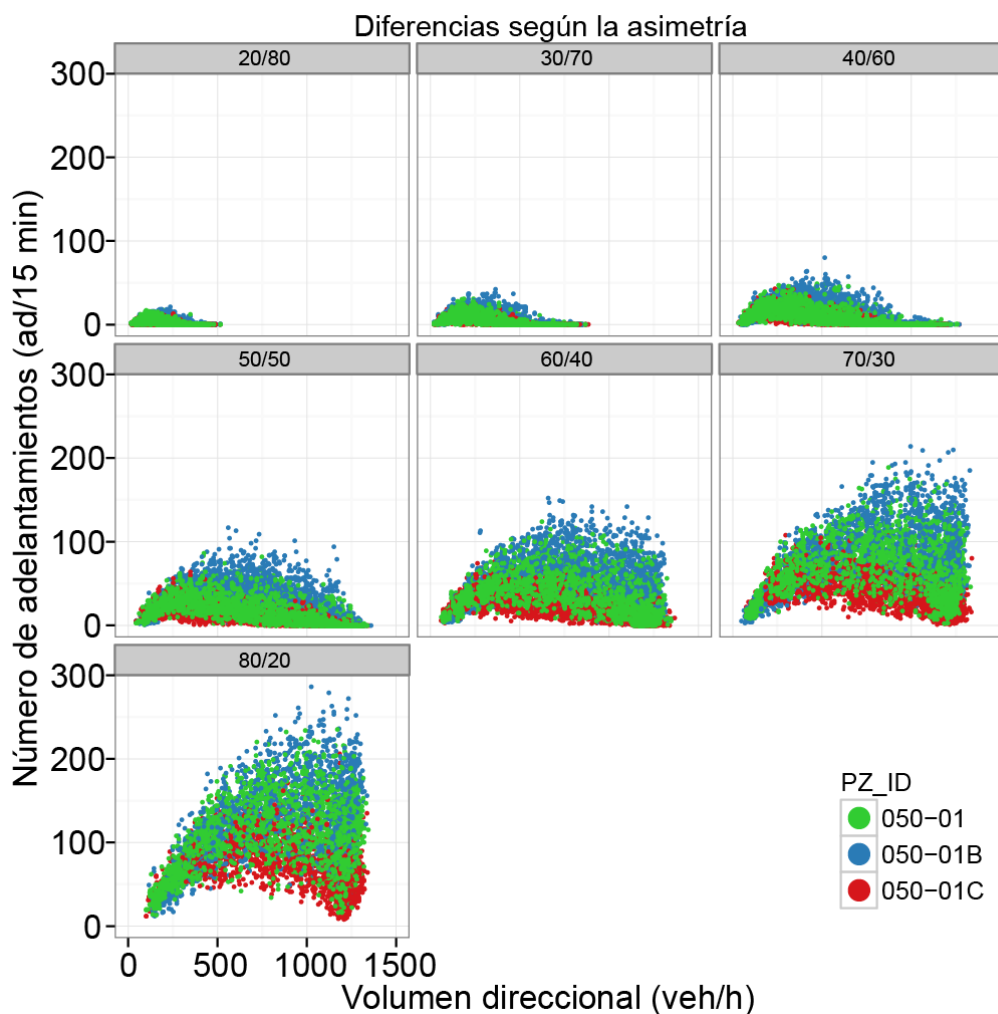
Tabla 11.13: Reducción del número de adelantamientos en función de la longitud media de zonas de adelantamiento

### 11.3.2 Configuraciones asimétricas

Tras la modelización del número de adelantamientos en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento, se ha estudiado la influencia de la asimetría en la distribución de las zonas. Para

ello se ha comparado el número de adelantamientos en las configuraciones con igual longitud media de las zonas de adelantamiento. Se han considerado las configuraciones con longitud media de 5000 m y de 2500 m.

Se han simulado tres configuraciones con una única zona de adelantamiento de 5000 m de longitud, una simétrica (050-01) y dos asimétricas (050-01B, 050-01C). En la Figura 11.9 se encuentra la comparativa de resultados.

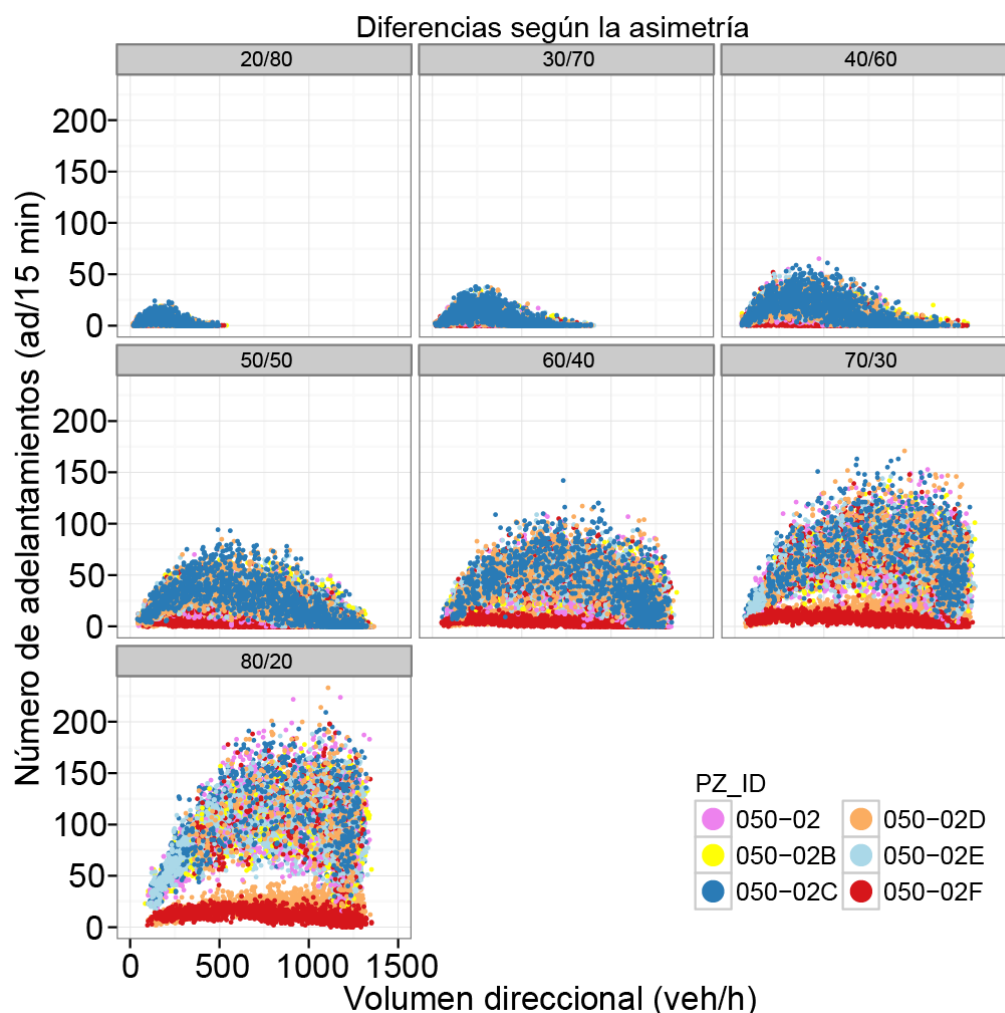


**Figura 11.9:** Estimación del número de adelantamientos en las configuraciones asimétricas con longitud 5000 m

Como se puede observar, el número de adelantamientos es sensible a la distribución de las zonas en repartos favorables, a partir de 40/60. En repartos poco favorables, el número de adelantamientos es reducido y no existen diferencias significativas en función de la configuración. La configuración que produce menor número de adelantamientos es la 050-01C, donde se permitía adelantar en la primera mitad del segmento. El número de adelantamientos aumenta al desplazarse la zona de adelantamiento hacia el final del segmento, ya que la zona de adelantamiento no permitido aumenta las colas que luego se disuelven en la zona de adelantamiento.

En todas las configuraciones se identifica un rango de volumen direccional que maximiza el número de adelantamientos. El rango depende del reparto y la configuración, de tal forma que el rango se produce en volumen direccional más elevado al mejorar el reparto y distribuir la zona al final del segmento.

En algunos casos, el desplazamiento de la zona de adelantamiento al principio del segmento puede reducir el número de adelantamientos a la mitad, en comparación con la configuración simétrica, mientras que su posicionamiento al final del segmento puede aumentar el número en un 50 %. Por ejemplo, en reparto compensado 50/50 con flujo de 600 veh/h, la media de adelantamientos es 26.9 ad/15 min en la configuración simétrica, 44.0 en la B y 13.3 en la C. Las diferencias son menores en tráficos bajos y repartos poco favorables, aunque se mantiene el orden relativo de funcionalidad.



**Figura 11.10:** Estimación del número de adelantamientos en las configuraciones asimétricas con longitud 2500 m

Se ha realizado un análisis similar con las configuraciones de 2500 m de longitud media de zona de adelantamiento. Existen 6 configuraciones con dos zonas de adelantamiento de 2500 m. Dos de las configuraciones son simétricas (050-02 y 050-02B) y las restantes son asimétricas. La comparativa de adelantamientos está en la Figura 11.10 y el resumen de los valores medios en la Tabla 11.14.

El número de adelantamientos en repartos favorables se reduce de la configuración C de 91.0 ad/15 min a 25.4 ad/15 min en la configuración F, para un volumen direccional de 400 veh/h y reparto 80/20. Estas diferencias son inferiores con la configuración base, donde sólo se reduce a 85.8 ad/15 min en esas condiciones de tráfico. En reparto compensado, las diferencias relativas son superiores, con 37.2 ad/15 min, 24.2 y 16.0 ad/15 min en las configuraciones C, base y F, respectivamente. En consecuencia, no existe una tendencia clara de cómo la asimetría afecta al número de adelantamientos, aunque sí se puede extraer conclusiones cualitativas.



Reparto	Tráfico	Configuración					
	Vd (veh/h)	050-02	050-02B	050-02C	050-02D	050-02E	050-02F
20/80	<200	2.85	4.27	5.41	3.53	4.24	3.09
	>400	0.21	0.44	0.65	0.44	0.49	0.32
30/70	<200	8.06	9.71	12.32	7.94	10.31	7.10
	400	4.25	8.09	9.35	5.65	7.05	4.40
	600	0.57	1.14	1.29	0.77	0.87	0.65
	>800	0.02	0.45	0.26	0.14	0.13	0.24
40/60	<200	14.24	15.50	17.99	11.02	16.29	10.23
	400	14.52	19.63	24.32	15.20	18.95	12.34
	600	9.63	14.93	17.04	10.11	12.69	7.79
	800	2.70	5.38	5.30	2.88	3.63	2.05
	1000	0.20	1.12	0.72	0.58	0.40	0.32
	1200	0.26	1.30	0.74	0.22	0.20	0.25
	>1400	14.24	0.67	0.00	0.22	0.20	0.00
50/50	<200	21.22	22.37	24.78	13.48	23.20	13.17
	400	28.33	31.38	38.51	22.21	31.00	18.53
	600	24.18	30.86	37.23	23.30	28.19	15.95
	800	18.72	27.28	30.01	16.89	22.98	11.83
	1000	10.29	16.12	15.27	8.60	11.57	5.64
	1200	1.34	3.15	2.43	1.24	1.69	0.78
	1400	0.30	3.09	1.41	0.48	0.46	0.50
60/40	<200	28.07	30.19	31.67	14.52	32.05	13.66
	400	42.33	43.80	49.92	26.21	45.57	22.90
	600	47.27	48.30	57.66	32.33	48.59	24.95
	800	43.54	47.17	54.93	28.56	43.40	21.74
	1000	32.10	39.68	43.78	22.66	33.60	15.69
	1200	15.81	23.63	21.44	11.82	17.52	7.25
	>1400	16.33	19.56	24.35	9.11	22.00	12.30
70/30	<200	36.37	36.27	41.17	13.82	39.22	15.00
	400	64.64	60.36	67.38	27.96	63.05	26.19
	600	71.23	69.88	80.48	38.62	69.26	31.87
	800	70.68	75.35	79.69	38.20	70.60	26.97
	1000	66.60	70.75	75.33	35.85	63.57	24.00
	1200	42.45	50.72	51.72	24.49	43.47	14.76
	>1400	42.07	58.92	60.07	31.26	53.88	22.44
80/20	<200	48.74	49.13	55.25	10.42	53.12	11.60
	400	85.76	82.34	90.96	29.79	87.24	25.44
	600	113.93	102.70	120.16	40.29	107.46	38.38
	800	115.47	112.16	121.84	42.07	106.71	31.85
	1000	111.42	112.80	115.18	48.01	105.48	34.70
	1200	84.91	90.44	92.54	35.08	81.29	22.21
	>1400	109.55	106.37	108.47	27.00	91.41	28.17

**Tabla 11.14:** Número medio de adelantamientos en las configuraciones con longitud media 2500 m

Se puede observar que el número de adelantamientos es superior en la configuración C, seguida de la configuración B, E y la base. Las configuraciones D y F tienen los valores más reducidos. En las primeras configuraciones, las zonas de adelantamiento se sitúan al final del segmento, mientras que en las configuraciones D y F se comienza con una zona de adelantamiento. Así, el número de adelantamientos se maximiza al desplazar las zonas de adelantamiento hacia el final del segmento, como en el caso anterior.

Por su parte, las zonas simétricas producen valores similares, aunque en la mayoría de casos el número de adelantamientos es superior si se finaliza con una zona de adelantamiento permitido y se cuenta con una zona de adelantamiento no permitido más larga. En las configuraciones C y E, las

zonas de adelantamiento se encuentran al final del segmento, aunque es preferible tener la zona de adelantamiento no permitido más larga al final del segmento y así la última zona de adelantamiento es más efectiva. Las conclusiones son las opuestas en las configuraciones D y F.

## 11.4 Modelo global para la evaluación de las medidas de desempeño

Una vez se han caracterizado las zonas individualmente y se ha estimado el número de adelantamientos, se ha desarrollado un modelo global para la estimación de las medidas de desempeño en carreteras convencionales.

De forma similar al HCM 2010, se partirá de una configuración base, en la que el adelantamiento no está restringido y posteriormente se realizarán ajustes para los casos en los que el escenario difiera de la configuración base. Los ajustes dependerán del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido y de la longitud media de la zona de adelantamiento.

Así, la velocidad media se calcula con la Ecuación 14.1 y el porcentaje de tiempo en cola, con la Ecuación 14.4.

$$ATS = ATS_{base} + Fats_{npz} + Fats_{lmza} \quad (11.3)$$

$$PTSF = PTSF_{base} + Fptsf_{npz} + Fptsf_{lmza} \quad (11.4)$$

Donde:

- $ATS$ : velocidad media (km/h).
- $ATS_{base}$ : velocidad media en la configuración base (km/h).
- $Fats_{npz}$ : factor de ajuste de la velocidad media en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (km/h).
- $Fats_{lmza}$ : factor de ajuste de la velocidad media en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento (km/h).
- $PTSF$ : porcentaje de tiempo en cola (%).
- $PTSF_{base}$ : porcentaje de tiempo en cola en la configuración base (%).
- $Fptsf_{npz}$ : factor de ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (%).
- $Fptsf_{lmza}$ : factor de ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento (%).

Además, se cuantificará el efecto de la simetría en la configuración de las zonas de adelantamiento.

### 11.4.1 Configuración base

En primer lugar, se han determinado los modelos de las medidas de desempeño para la configuración base. La configuración base tiene las siguientes características:

- Anchura de carril igual o superior a 3.5 m.
- Anchura de arcén igual o superior a 1 m.
- Sin restricción de adelantamiento (porcentaje de zona de adelantamiento no permitido igual al 0%).

- Terreno llano.
- Sin restricciones al tráfico (por ejemplo: intersecciones semaforizadas, vehículos girando).

Las características de la configuración base son similares a las del HCM 2010 pero adaptadas a las carreteras observadas y simuladas. No se ha incluido el tratamiento de únicamente vehículos ligeros, con la consiguiente conversión de los vehículos pesados en vehículos ligeros equivalentes, debido a que no existía muestra suficiente con distintos porcentajes de vehículos pesados para las mismas condiciones de tráfico.

Las condiciones de la configuración base se cumplen en la configuración 000-01. Así, se pueden tomar los modelos desarrollados ya en la Sección 11.2 para esta configuración como base. El modelo de la velocidad media sigue la Ecuación 11.5 y se ha representado en la Figura 11.11.

$$ATS_{base} = 89,52 - 1,504 \times 10^{-2} V_d - 6,44 \times 10^{-3} V_o - 5,22 \times 10^{-2} HV_d \quad (11.5)$$

Donde:

- $ATS_{base}$ : velocidad media en la configuración base (km/h).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $HV_d$ : porcentaje de vehículos pesados (%).

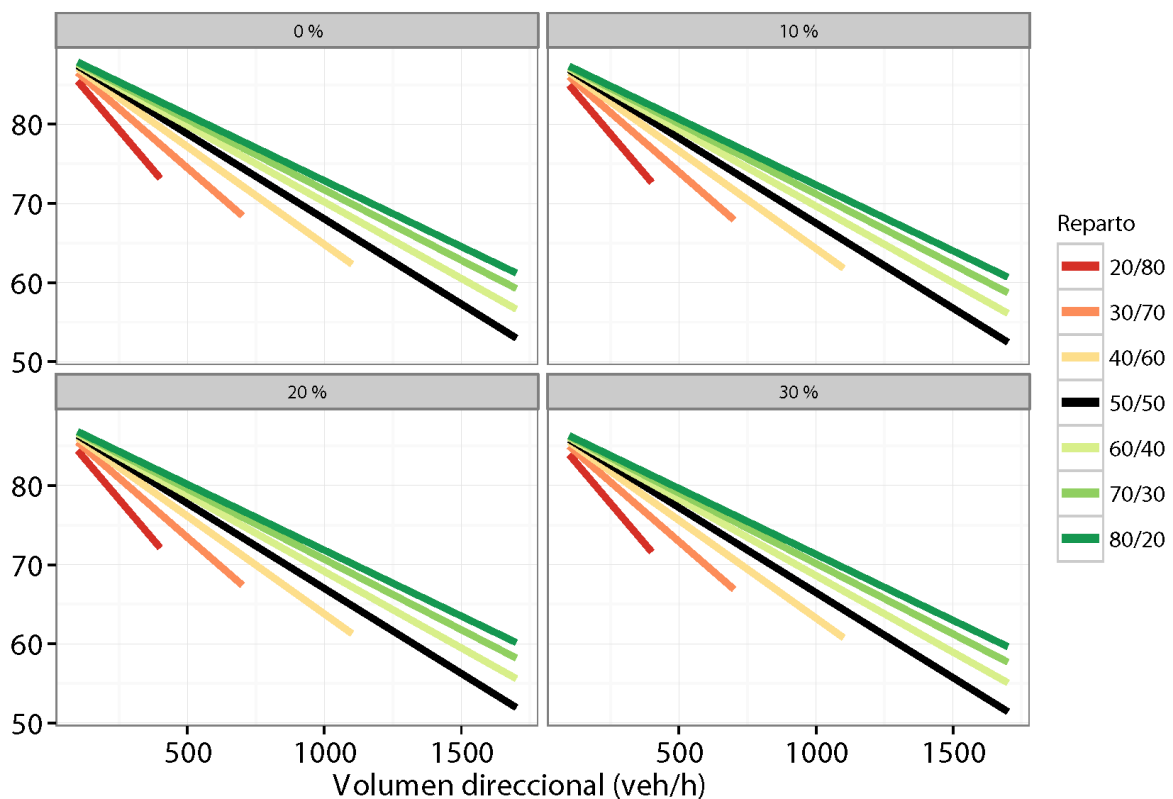


Figura 11.11: Velocidad media en la configuración base

El porcentaje de tiempo en cola se rige por la Ecuación 11.6. En la Figura 11.12 se muestra la variación del porcentaje de tiempo en cola en función del reparto y el volumen direccional.

$$PTSF_{base} = 100 (1 - e^{aV_d^b}) \quad (11.6)$$

$$a = -2,12 \times 10^{-3} - 3,48 \times 10^{-5} V_o + 6,15 \times 10^{-4} \ln(V_o) \quad (11.7)$$

$$b = 1,33 - 2,23 \times 10^{-5} V_o - 1,00 \times 10^{-1} \ln(V_o) \quad (11.8)$$

Donde:

- $PTSF_{base}$ : porcentaje de tiempo en cola en la configuración base (%).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).

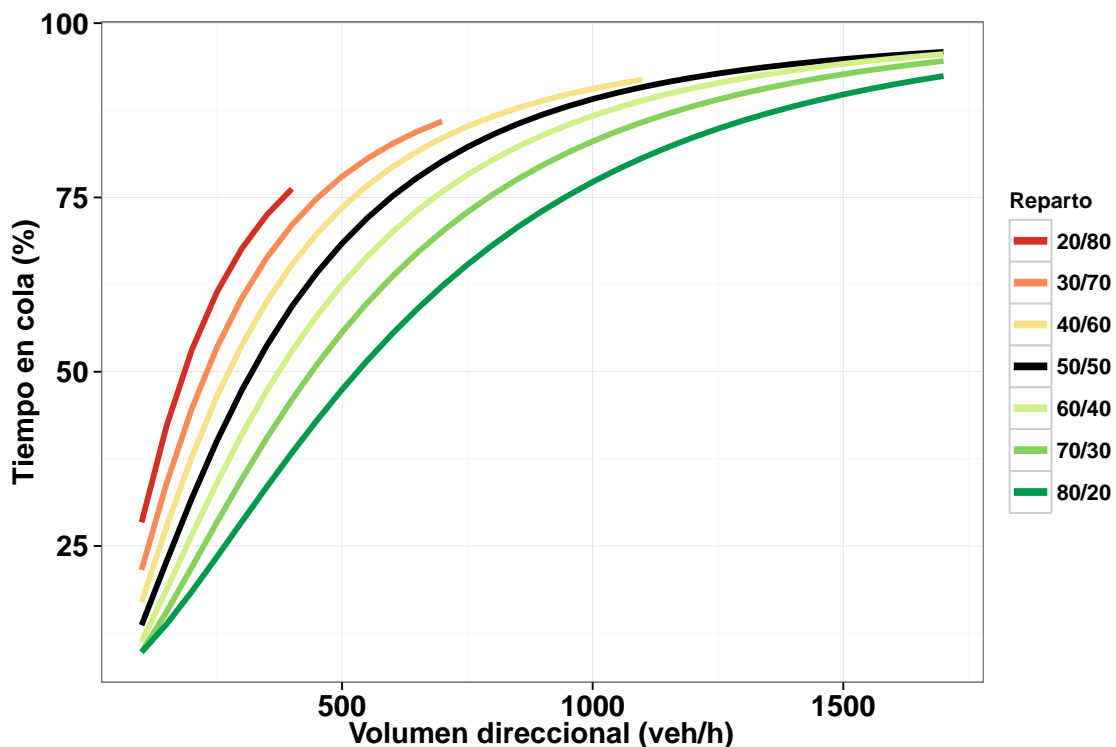


Figura 11.12: Porcentaje de tiempo en cola en la configuración base

Así, se pueden emplear las Ecuaciones 11.5 y 11.6 para estimar las medidas de desempeño en carreteras convencionales que cumplan las condiciones base.

#### 11.4.2 Ajuste según el porcentaje de zona de adelantamiento no permitido

Dentro de las zonas con NPZ del 50% se ha seleccionado la configuración 050-01 como base, con una única zona de adelantamiento centrada en el segmento, puesto que presenta una menor interacción entre las zonas de adelantamiento y no adelantamiento, que se modelizará con los ajustes posteriores.

El análisis se ha realizado para cada medida con la siguiente metodología:

- Estimación de la medida de desempeño a partir del valor en la configuración base (Ecuaciones 11.5 y 11.6).
- Cálculo de la diferencia entre la estimación y el valor real.

- Representación gráfica de la diferencia.
- Propuesta de formas funcionales para el ajuste de las diferencias.
- Ejecución de los modelos con las formas funcionales, si los hubiera, y selección del modelo óptimo.
- Determinación de la bondad del ajuste de las estimaciones con el nuevo modelo y las diferencias reales.

Los valores medios en función del volumen opuesto y el reparto se recogen en la Tabla 11.15.

Reparto	Tráfico	Velocidad media		PTSF	
	Vo	50	100	50	100
20/80	<200	-0.26	-1.35	0.41	5.02
	>400	0.59	0.61	-1.85	-1.86
30/70	<200	-1.17	-3.34	3.28	12.23
	400	-0.87	-1.11	0.55	1.83
	600	0.92	0.95	-0.82	-0.79
	>800	2.73	2.60	-2.18	-2.34
40/60	<200	-1.54	-4.41	5.31	18.12
	400	-2.11	-3.09	2.92	7.41
	600	-0.80	-1.18	0.40	2.20
	800	0.81	0.70	0.06	0.54
	1000	1.91	1.96	0.32	0.28
	>1200	3.29	3.27	-0.04	-0.13
50/50	<200	-1.42	-4.95	7.31	23.14
	400	-2.38	-4.38	4.91	13.52
	600	-1.70	-2.77	1.62	6.34
	800	-0.65	-1.24	0.53	2.56
	1000	0.52	0.27	0.61	1.34
	1200	-0.05	-0.10	1.39	1.47
	>1400	0.98	0.95	2.60	2.70
60/40	<200	-1.33	-5.52	8.58	27.64
	400	-2.29	-5.05	7.35	19.52
	600	-2.03	-4.03	3.32	11.16
	800	-1.27	-2.51	1.41	6.18
	1000	-0.77	-1.26	1.18	3.52
	1200	-1.16	-1.68	1.58	2.44
	>1400	0.36	-0.11	2.59	3.14
70/30	<200	-1.21	-5.95	10.23	31.91
	400	-1.87	-5.56	10.63	26.52
	600	-1.78	-4.75	6.56	17.70
	800	-1.75	-3.52	4.07	11.36
	1000	-1.19	-2.80	2.87	7.40
	1200	-2.48	-3.35	2.71	4.55
	>1400	-0.47	-2.01	2.46	5.17
80/20	<200	-0.88	-6.14	11.36	35.63
	400	-1.09	-5.98	14.31	34.25
	600	-1.40	-4.93	10.95	25.44
	800	-1.28	-4.16	7.94	18.47
	1000	-1.39	-3.51	6.11	12.72
	>1400	-3.02	-4.88	5.20	8.81
		-1.15	-3.83	4.96	9.36

**Tabla 11.15:** Diferencias medias con la configuración base en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido y tráfico

### 11.4.2.1 Velocidad media

Las diferencias en la velocidad media dependen principalmente del reparto y del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (Tabla 11.15). La diferencia es mayor en repartos favorables, donde los adelantamientos se ven más penalizados, en comparación con la configuración base. En repartos poco favorables, como 20/80, la diferencia es escasa y tiene un valor medio de -0.71 km/h, aunque a medida que el reparto es más favorable, las diferencias son más notables, con una reducción de 1.72 km/h en reparto 50/50 y de 4.85 km/h en reparto 80/20. Además, el crecimiento no es lineal. Por su parte, existe una ligera influencia del volumen direccional, aunque su magnitud es similar a la dispersión.

A partir de la visualización de las diferencias en la estimación también se puede determinar una posible relación de tercer grado con el volumen direccional, y la correlación entre el volumen opuesto y el porcentaje de zona de adelantamiento no permitido. De esta forma, se han identificado nueve posibles variables independientes: volumen direccional (tercer grado), volumen opuesto (tercer grado), porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (%NPZ), porcentaje de vehículos en cola e interacción entre el volumen opuesto y %NPZ.

Para determinar qué variables son más significativas, se han ejecutado en R las 256 de 512 combinaciones posibles de variables que incluyen el volumen direccional. Los estadísticos están resumidos en la Sección D.4.1 del Anexo D. Entre los modelos con mejor ajuste, se ha seleccionado el de menor número de variables que presenta un pseudo  $R^2$  del 33.7 % y una correlación del 58 %. La estimación del modelo frente a las diferencias observadas se muestra en la Figura 11.13, donde se puede apreciar la considerable dispersión de la propia variable.

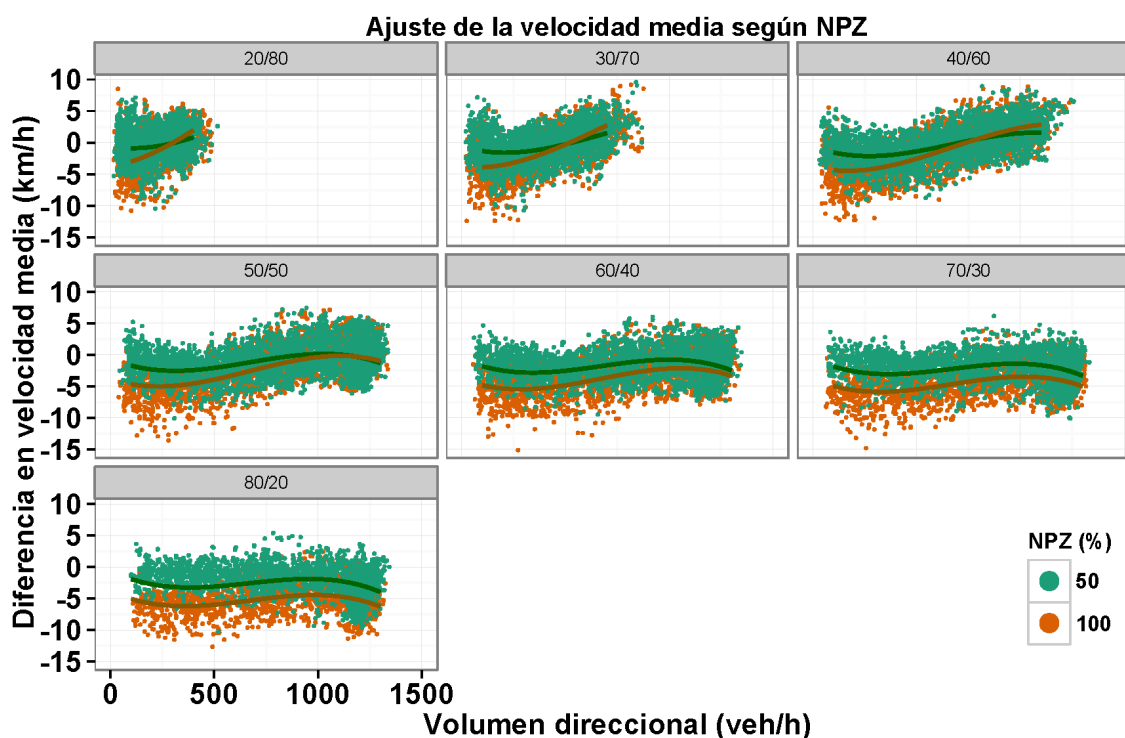


Figura 11.13: Ajuste de la velocidad media en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido

La función del ajuste depende tanto del volumen opuesto como del porcentaje de adelantamiento no permitido y el volumen direccional. El porcentaje de vehículos pesados la aumenta, lo cual indica que el porcentaje de vehículos en cola tiene una menor influencia en las zonas con menor porcentaje de zona de no adelantamiento. Por otro lado, el ajuste deja de depender del volumen direccional si el reparto es más favorable, confirmando que el volumen opuesto es más influyente que el volumen direccional, que produce menores oscilaciones en el valor de la variable.

El ajuste produce que en algunos casos, la velocidad media sea superior que en la configuración base. Por tanto, se va a limitar el valor máximo de los coeficientes de ajuste a 0. Así, la diferencia entre la configuración base y las configuraciones con mayor porcentaje de zona de adelantamiento no permitido se puede modelizar según la Ecuación 11.9. El resumen del modelo se encuentra en la Sección D.5.

$$Fats_{npz} = \min \begin{cases} 0 \\ -2,06 - 0,0166 V_d + 0,027 V_o - 0,064 P_{npz} + 0,027 HV_d + \\ + 2,92 \times 10^{-5} V_d^2 - 1,45 \times 10^{-8} V_d^3 + 5,43 \times 10^{-5} P_{npz} V_o \end{cases} \quad (11.9)$$

Donde:

- $Fats_{npz}$ : factor de ajuste de la velocidad media en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (km/h).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $HV_d$ : porcentaje de vehículos pesados (%).
- $P_{npz}$ : porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (%).

Finalmente, se ha aplicado la Ecuación 11.9 en la base de datos y se ha calculado la correlación entre la velocidad media obtenida en la simulación y la velocidad media estimada a partir de la configuración base y el ajuste en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido. La correlación aumenta hasta el 94.1 % en la configuración 050-01 y el 92.1 % en la configuración 100-00. Es más, la diferencia media entre los valores es inferior a 0.5 km/h, siendo de mayor entidad en los repartos más descompensados. La desviación típica es de 2.6 km/h, similar a la de la propia muestra, y los errores se encuentran distribuidos de forma aleatoria. En consecuencia, el ajuste de los datos es bueno y el modelo es válido.

#### 11.4.2.2 Porcentaje de tiempo en cola

El ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido se ha producido de forma similar al de la velocidad media. En primer lugar, se han analizado las diferencias entre la estimación de la configuración base y los resultados de la simulación (Tabla 11.15).

Estas dependen del volumen direccional, reparto y porcentaje de zona de adelantamiento no permitido. Las mayores diferencias se producen en repartos más favorables. Por ejemplo, en volumen direccional bajo, la diferencia es del 30 % en reparto favorable, del 25 % en flujo compensado y del 10 % en reparto poco favorable.

En volúmenes superiores a 1000 veh/h, la diferencia es prácticamente nula hasta repartos 60/40, si bien aumenta al 10 % en el reparto más favorable. Además, los errores no son constantes en todos los volúmenes direccionales, sino que se reducen al aumentar el volumen. En la configuración con 50 % de NPZ, las diferencias son menores pero tienen una tendencia similar. Estas conclusiones son acordes con la hipótesis inicial de que la restricción de adelantamiento produce mayor efecto en los escenarios donde las oportunidades de adelantamiento son mayores, como en volúmenes direccionales bajo-medios y en repartos más favorables.

La forma funcional para estimar la diferencia entre la configuración base y otras configuraciones debe tener una forma asintótica con el volumen direccional, y además considerar el porcentaje de zona de adelantamiento no permitido y el volumen opuesto. Se han considerado las tres formas funcionales de la Tabla 11.16.

Donde:

Modelo	Ecuación	Cor (%)	Error residual estandard
M1	$F_{pts} f_{npz} = \frac{a_1 V_d}{1 + e^{b_1 V_d}}$	29.1	8.47
M2	$F_{pts} f_{npz} = \frac{a_1 V_d + a_2 P_{npz}}{1 + e^{b_1 V_d + b_2 P_{npz}}}$	82.4	4.94
M3	$F_{pts} f_{npz} = \frac{a_0 + a_1 V_d + a_2 P_{npz} + a_3 V_o}{1 + e^{b_1 V_d + b_2 P_{npz} + b_3 V_o}}$	85.7	4.49

**Tabla 11.16:** Modelos funcionales para ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función de %NPZ

- $F_{pts} f_{npz}$ : diferencia en porcentaje de tiempo en cola con la configuración base (%).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $a_i$ : coeficientes de regresión.
- $b_i$ : coeficientes de regresión.

Se trata de modelos no lineales, que se han ajustado con regresiones no lineales, estimando los parámetros  $a_i, b_i$  por mínimos cuadrados. El listado inicial de parámetros se ha realizado por tanteo, y se han probado varias combinaciones. En todas ellas, el óptimo es similar, luego se puede considerar que en el espacio de búsqueda se ha hallado el óptimo global. Los modelos no lineales se han ejecutado en la base de datos que comprende las configuraciones 050-01 y 100-00. Los estadísticos de cada modelo se pueden encontrar en la Sección D.4.2 del Anexo D.

El modelo óptimo es el M3, que incluye el volumen direccional, el porcentaje de zona de adelantamiento no permitido y el volumen opuesto (Ecuación 11.10). La correlación de las estimaciones del modelo y los datos es importante, del 85 %, como se muestra en la tabla resumen del modelo (Sección D.5).

$$F_{pts} f_{npz} = \frac{-26,86 + 0,122 V_d + 0,573 P_{npz} - 0,025 V_o}{1 + e^{0,0025 V_d - 0,0106 P_{npz} + 0,0037 V_o}} \quad (11.10)$$

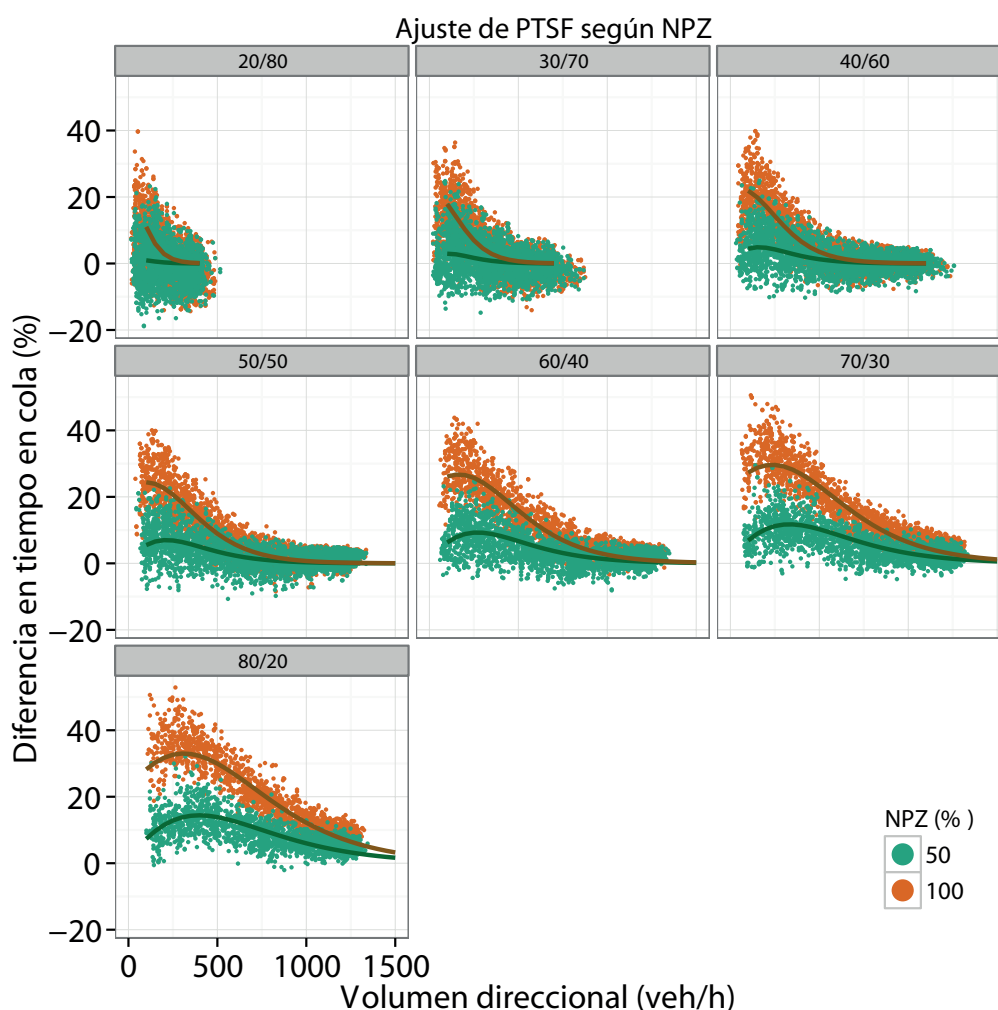
Donde:

- $F_{pts} f_{npz}$ : factor de ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (%).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $P_{npz}$ : porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (%).

En la Figura 11.14 se ha representado la estimación del modelo frente a las diferencias observadas. Se puede observar que el modelo captura adecuadamente las variaciones en función del volumen direccional, reparto y porcentaje de zona de adelantamiento no permitido. Además, no produce valores negativos. Por tanto, todas las configuraciones con restricción al adelantamiento aumentan el porcentaje de tiempo en cola, en comparación con la configuración base.

Finalmente, se ha comparado el porcentaje de tiempo en cola de las simulaciones y la estimación a partir del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido. En la configuración 100-00 el error medio depende del reparto y se encuentra entre -1.3 y 1.6 %. Los mayores errores se producen en los





**Figura 11.14:** Ajuste de porcentaje de tiempo en cola en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido

flujos más descompensados. En la configuración 050-01 se producen menores errores, entre el -0.3 y 0.6 %. En todo caso, son bastante reducidos, aunque la desviación no es constante para todos los repartos.

### 11.4.3 Ajuste según la longitud media de las zonas de adelantamiento

Tras el ajuste según el porcentaje de zona de adelantamiento no permitido, que es el único que se incluye en las actuales normativas internacionales, se ha calculado el efecto de la longitud media de las zonas de adelantamiento. El análisis se ha realizado para las medidas de desempeño con la metodología seguida en la Sección 11.4.2.

### 11.4.3.1 Velocidad media

En el caso de la velocidad media, no se observan tendencias claras en función del volumen direccional en repartos favorables. Únicamente se puede distinguir un mínimo local en volúmenes entre 200 y 400 veh/h si el reparto es poco favorable (Figura 11.15).

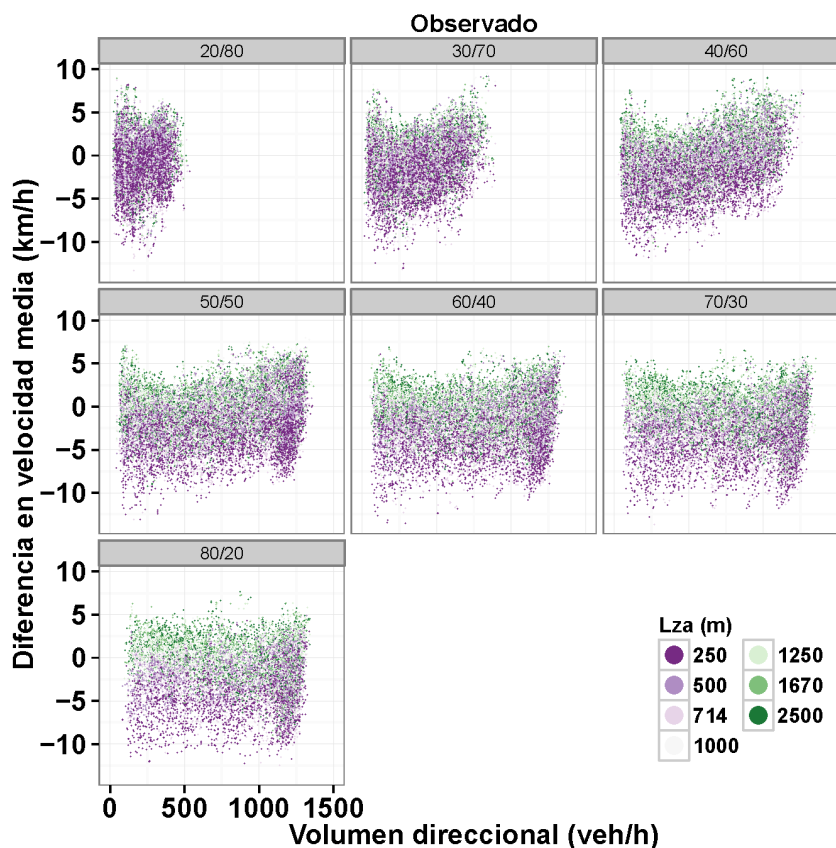


Figura 11.15: Diferencia entre la velocidad media real y la estimada según la base y el ajuste %NPZ

De forma análoga al ajuste anterior, se han propuesto una serie de formas funcionales para ajustar las diferencias observadas. No obstante, ninguna ha sido capaz de reproducir los condicionantes anteriores. Por tanto, en lugar de modelizar con una función los factores de ajuste, se ha calculado el valor medio de las diferencias observadas en distintas categorías. Los resultados se resumen en la Tabla 11.17.

Los factores de ajuste negativos indican que la velocidad media en ese escenario es inferior a la velocidad media de la configuración base (longitud de 5000 m). Los factores de ajuste de la velocidad media según la longitud media son mayores a medida que se reduce la longitud media de zona de adelantamiento (Tabla 11.17), y esta variación es mayor en repartos más favorables. Por ejemplo, la velocidad se reduce entre 1 y 2 km/h en las zonas muy cortas con reparto 20/80, pero si el reparto es 50/50 la reducción es de hasta 4.7 km/h, siendo de 6.5 km/h en reparto 80/20. En repartos más favorables, las maniobras de adelantamiento se ven más penalizadas y por tanto los factores de ajuste son mayores. Por el contrario, en repartos menos favorables no existen tantas diferencias ya que el número de maniobras se restringe por el flujo opuesto en lugar de la geometría.

En los escenarios con longitud media de 2500 m, el factor de ajuste es cercano a 0, y en volúmenes direccionales elevados es positivo. Es más, esta situación se produce también en otras configuraciones. Por tanto, existen escenarios de tráfico en los que es mejor una configuración con dos zonas de adelantamiento más cortas en lugar de una zona de adelantamiento muy larga. Concretamente, en

Reparto	Tráfico Vd (veh/h)	Longitud media de las zonas de adelantamiento (m)						
		250	500	714	1000	1250	1670	2500
20/80	<200	-2.05	-0.53	-1.60	-0.45	-0.27	-0.28	0.02
	400	-1.04	0.85	-1.10	0.86	0.78	0.73	0.84
	>600	-1.80	-1.18	-0.39	-0.45	-0.27	-0.61	0.00
30/70	<200	-3.27	-1.38	-2.30	-0.78	-0.54	-0.49	-0.23
	400	-2.53	-0.38	-2.25	-0.31	-0.22	-0.28	-0.17
	600	-1.28	0.81	-1.34	0.97	0.83	0.96	0.70
	>800	0.14	2.64	-0.08	2.55	2.69	2.72	2.93
40/60	<200	-3.90	-1.99	-2.60	-0.92	-0.60	-0.32	-0.15
	400	-3.57	-1.23	-3.02	-0.76	-0.89	-0.83	-0.70
	600	-2.82	-0.32	-2.69	-0.37	-0.25	-0.20	-0.11
	800	-1.92	0.85	-1.76	0.71	0.82	0.78	1.00
	1000	-0.81	1.77	-0.53	1.90	1.84	1.88	1.80
	>1200	1.11	2.98	1.36	3.21	3.55	2.97	3.15
50/50	<200	-4.69	-2.24	-2.54	-0.76	-0.32	0.07	0.10
	400	-4.39	-1.81	-3.26	-1.07	-0.84	-0.77	-0.61
	600	-3.86	-1.09	-3.47	-0.93	-0.81	-0.64	-0.50
	800	-3.51	-0.77	-3.14	-0.36	-0.34	-0.36	-0.18
	1000	-2.24	0.53	-1.85	0.51	0.80	0.73	0.53
	1200	-1.70	0.24	-1.84	0.23	0.19	0.20	0.26
	>1400	0.49	2.64	0.58	2.62	3.18	3.26	1.93
60/40	<200	-5.21	-2.56	-2.96	-0.65	0.08	0.47	0.51
	400	-4.62	-2.03	-3.26	-0.83	-0.73	-0.32	-0.12
	600	-4.39	-1.51	-3.74	-0.87	-0.55	-0.59	-0.33
	800	-4.35	-1.44	-3.67	-0.93	-0.96	-0.63	-0.69
	1000	-3.56	-0.78	-3.26	-0.56	-0.24	-0.40	-0.18
	1200	-2.89	-0.69	-2.54	-0.62	-0.76	-0.54	-0.42
	>1400	1.54	2.08	1.26	2.14	3.23	2.57	2.41
70/30	<200	-5.70	-2.92	-2.84	-0.17	0.41	0.52	0.92
	400	-5.18	-2.27	-3.61	-0.49	-0.29	0.23	0.29
	600	-4.54	-1.58	-3.67	-0.81	-0.36	-0.25	-0.10
	800	-4.94	-1.80	-3.93	-1.05	-0.57	-0.56	-0.20
	1000	-4.46	-1.21	-3.63	-0.82	-0.74	-0.50	-0.61
	1200	-3.59	-1.54	-3.32	-1.19	-1.12	-0.98	-0.80
	>1400	0.37	1.86	-0.24	0.72	1.03	2.30	1.47
80/20	<200	-6.46	-3.16	-3.07	0.04	0.74	1.40	1.26
	400	-5.48	-2.44	-3.11	0.10	0.55	0.90	1.52
	600	-4.91	-2.07	-3.39	-0.28	-0.01	0.56	0.85
	800	-5.36	-2.03	-3.85	-0.67	-0.08	-0.15	0.04
	1000	-4.89	-1.74	-3.52	-0.61	-0.49	-0.38	-0.04
	1200	-4.06	-2.27	-3.53	-1.27	-1.25	-0.86	-0.80
	>1400	-0.89	0.72	0.62	2.20	2.35	3.09	2.49

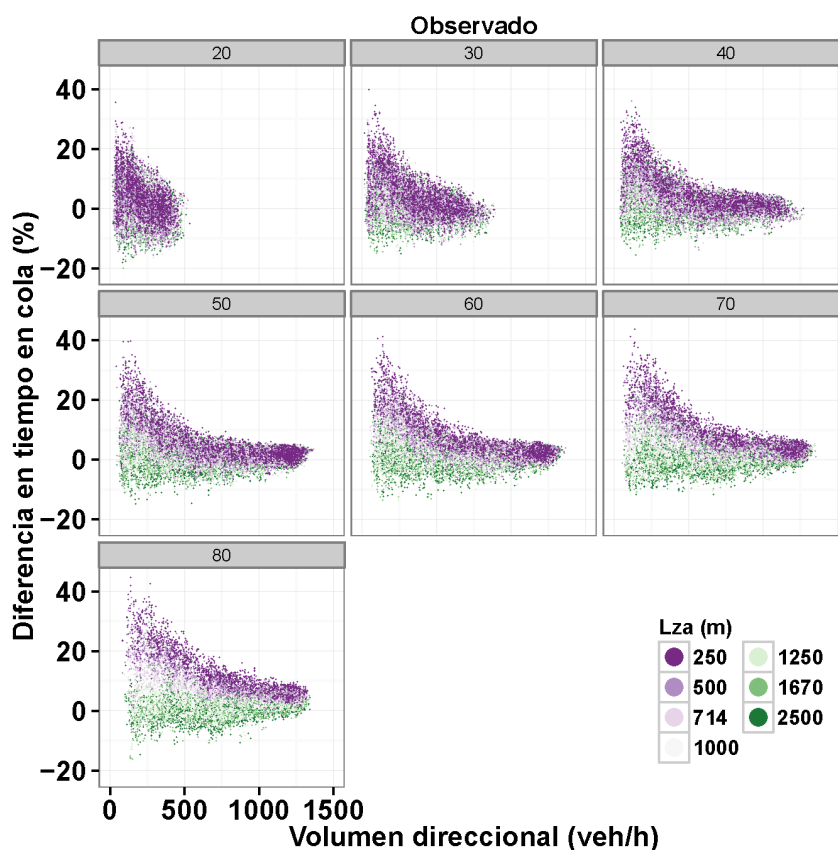
**Tabla 11.17:** Ajuste de la velocidad media en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento

las configuraciones con un reparto compensado (50/50), la velocidad media se maximiza con zonas de adelantamiento de longitud media igual a 1250 m, si el volumen de tráfico es superior a 1000 veh/h.

Para determinar la bondad del ajuste, se ha comparado la velocidad media de las simulaciones y la estimación a partir de la longitud media de las zonas de adelantamiento. El error medio resultante es nulo, si bien existe dispersión en los resultados. Esta dispersión se deriva de la propia dispersión de la variable, de 10 km/h, por lo que el ajuste se puede considerar correcto.

### 11.4.3.2 Porcentaje de tiempo en cola

En cuanto al porcentaje de tiempo en cola, se ha calculado la diferencia entre el valor real y el estimado según la configuración base y el ajuste para el 50 % de zonas de adelantamiento no permitido (Figura 11.16 y Figura 11.17).



**Figura 11.16:** Diferencia entre el porcentaje de tiempo en cola real y el estimado según la base y el ajuste %NPZ (I)

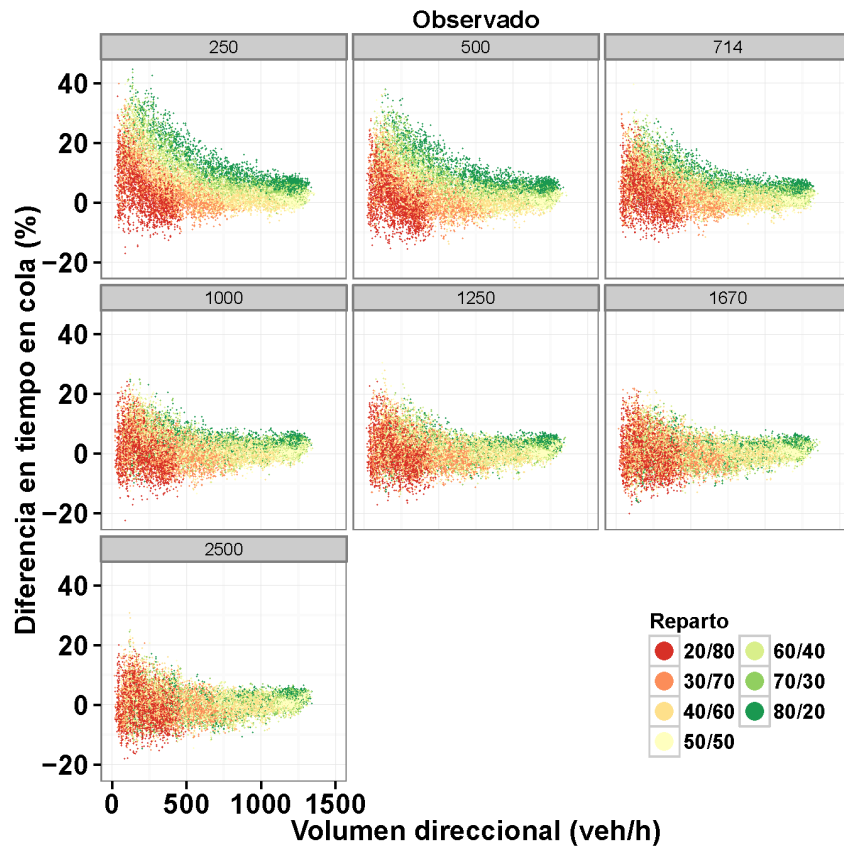
Las diferencias son superiores en volúmenes direccionales bajos y se van reduciendo al aumentar el volumen direccional, hasta prácticamente ser iguales a cero, y el valor depende de la longitud de la zona de adelantamiento y el reparto.

El aumento de la longitud media de la zona de adelantamiento reduce las diferencias con la configuración base, de tal forma que en las configuraciones con longitud media de 2500 m, las diferencias son prácticamente nulas, independientemente del volumen direccional. En el caso de configuraciones con longitud media corta (250 y 500 m) las diferencias en volumen direccional bajo son cercanas al 30 %. Esta horquilla se va reduciendo al aumentar la longitud media.

Se puede observar que en longitudes bajas, el reparto no únicamente aumenta ligeramente los valores en volúmenes direccionales bajos, sino que también se produce en valores más elevados. Es decir, la interacción con el tráfico provoca un desplazamiento de las familias de valores hacia la derecha, de tal forma que la misma diferencia de tiempo en cola se produce a mayor volumen direccional, dada una configuración de zonas de adelantamiento.

Igualmente, la dispersión no es constante en función del volumen direccional. En los volúmenes direccionales elevados, la dispersión de los valores es más limitada, con un rango de variación entre el -5 y 5 %, mientras que en volúmenes más bajos, el rango de variación se sitúa entre -15 y 20 %.

Además, existe interacción entre el reparto y la longitud media de las zonas de adelantamiento (Figura 11.17).



**Figura 11.17:** Diferencia entre el porcentaje de tiempo en cola real y el estimado según la base y el ajuste %NPZ (II)

Tras el análisis cualitativo, se han propuesto distintas formas funcionales para cuantificar la naturaleza del fenómeno. No obstante, no se encontró una forma funcional válida para todos los casos. En consecuencia, se ha calculado el valor medio de las diferencias entre el valor real en la configuración y el valor estimado para la configuración 050-01. Los coeficientes de ajuste se encuentran en la Tabla 11.18.

Al reducir la longitud media de las zonas de adelantamiento aumenta el coeficiente de ajuste. Las diferencias son notables en volúmenes bajos, con un aumento de 18.1 % en flujo compensado y hasta del 26.9 % con reparto 80/20. Al aumentar el volumen de tráfico, se reducen estas diferencias. La tendencia continúa hasta volúmenes de 1000 veh/h, punto a partir del cual el coeficiente de ajuste aumenta ligeramente.

Los coeficientes de ajuste para la configuración con longitud media de adelantamiento de 2500 m son cercanos al 0 %, y en algunos casos son negativos, lo cual indica que no siempre una mayor longitud de zona de adelantamiento produce mejor porcentaje de tiempo en cola. Al igual que en la velocidad media, existen algunos escenarios de volumen y configuración en los que el comportamiento es mejor que en la configuración base. Concretamente, en repartos poco favorables, el porcentaje de tiempo en cola se minimiza en volúmenes direccionales medios, entre 400 y 600 veh/h, para longitudes de zona de adelantamiento de 1670 y 2500 m.

Finalmente, se ha calculado el error que se produce entre la estimación del porcentaje de tiempo en cola con el coeficiente de ajuste y el porcentaje del tiempo en cola real. La diferencia media es nula, para un reparto y longitud media de zonas de adelantamiento. Además, deja de depender de la longitud media de las zonas de adelantamiento y en menor medida del reparto.

Reparto	Tráfico Vd (veh/h)	Longitud media de las zonas de adelantamiento (m)						
		250	500	714	1000	1250	1670	2500
20/80	<200	5.37	2.22	3.91	1.69	1.41	0.90	0.21
	400	-0.36	-2.28	-0.14	-2.22	-1.97	-2.23	-2.11
	>600	-5.10	2.77	1.71	1.69	1.41	-0.01	-2.09
30/70	<200	10.83	6.75	6.98	3.71	2.70	1.96	1.42
	400	2.65	0.43	2.04	0.05	-0.11	-0.02	-0.27
	600	0.40	-0.78	0.50	-1.05	-0.90	-0.95	-0.65
	>800	-0.73	-2.22	-0.74	-1.99	-2.56	-2.18	-2.54
40/60	<200	14.65	10.46	9.08	5.03	3.75	2.26	1.83
	400	6.06	3.41	4.11	1.40	1.59	1.27	0.73
	600	2.20	0.39	1.47	-0.02	-0.14	-0.44	-0.57
	800	1.24	-0.09	0.97	0.08	-0.19	-0.11	-0.34
	1000	0.86	0.34	0.68	0.24	0.21	0.15	0.18
	>1200	-0.29	-0.65	-0.23	-0.36	-0.63	-0.24	-0.23
50/50	<200	18.14	12.97	10.02	6.12	3.91	2.29	1.39
	400	9.29	6.67	5.69	2.49	1.77	1.37	0.54
	600	4.44	1.86	2.60	0.89	0.23	-0.12	-0.58
	800	2.43	0.97	1.49	0.14	0.08	-0.18	-0.56
	1000	1.49	0.72	1.21	0.43	0.24	0.36	0.33
	1200	1.49	1.34	1.47	1.31	1.22	1.25	1.28
	>1400	2.45	2.66	2.31	2.33	2.25	2.59	2.81
60/40	<200	21.54	16.07	12.15	6.26	3.59	1.69	1.29
	400	12.02	9.22	7.42	3.77	2.83	1.02	0.13
	600	6.70	4.19	4.03	1.12	0.26	-0.31	-1.35
	800	4.20	2.35	2.26	0.68	0.26	-0.46	-0.64
	1000	2.73	1.69	1.96	1.11	0.48	0.44	0.17
	1200	2.15	1.85	1.81	1.59	1.54	1.36	1.31
	>1400	2.42	2.48	2.70	2.61	2.28	2.49	2.43
70/30	<200	24.14	18.82	12.95	5.76	2.88	1.13	0.29
	400	16.23	12.56	10.24	4.49	2.77	0.84	0.49
	600	9.15	6.24	5.47	1.96	0.69	-0.61	-1.14
	800	6.33	4.20	3.72	1.28	0.34	-0.47	-1.11
	1000	4.66	3.46	2.93	1.60	1.07	0.62	0.46
	1200	3.38	2.92	2.74	2.25	2.06	1.83	1.55
	>1400	3.42	3.64	3.56	3.24	3.22	2.60	3.07
80/20	<200	26.89	21.55	14.22	5.52	1.84	-0.19	-0.32
	400	21.14	17.41	12.67	6.26	3.43	2.07	0.34
	600	13.93	10.89	8.35	3.89	1.76	0.05	-0.96
	800	9.93	7.83	5.92	2.86	0.93	0.20	-0.55
	1000	7.52	6.22	4.87	3.04	2.22	1.11	0.73
	1200	5.54	5.13	4.47	3.64	3.25	2.67	2.26
	>1400	6.30	5.56	4.93	3.99	3.03	2.95	2.36

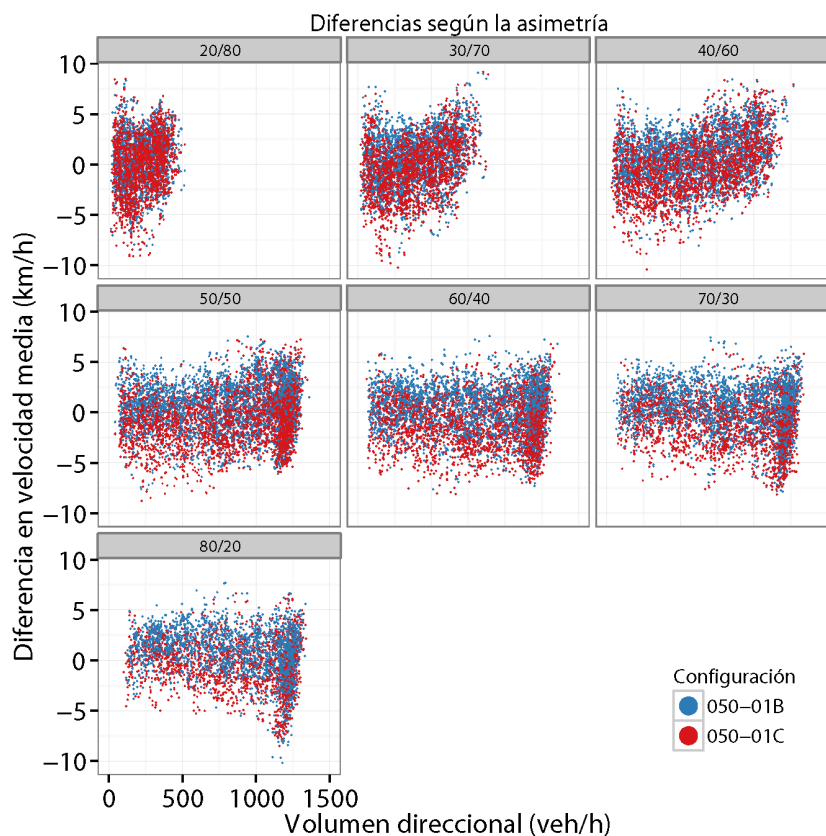
**Tabla 11.18:** Ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento

#### 11.4.4 Ajuste según la asimetría en la distribución de las zonas de adelantamiento

En esta Sección se ha cuantificado la diferencia entre el valor estimado y el valor de la simulación, en los escenarios asimétricos. El valor estimado se ha calculado a partir de la configuración base y los ajustes según el porcentaje de adelantamiento no permitido y la longitud media de las zonas.

#### 11.4.4.1 Velocidad media

Existen tres configuraciones con una única zona de adelantamiento, de 5000 m, una simétrica y dos asimétricas. En la Figura 11.18 se muestran las diferencias calculadas.



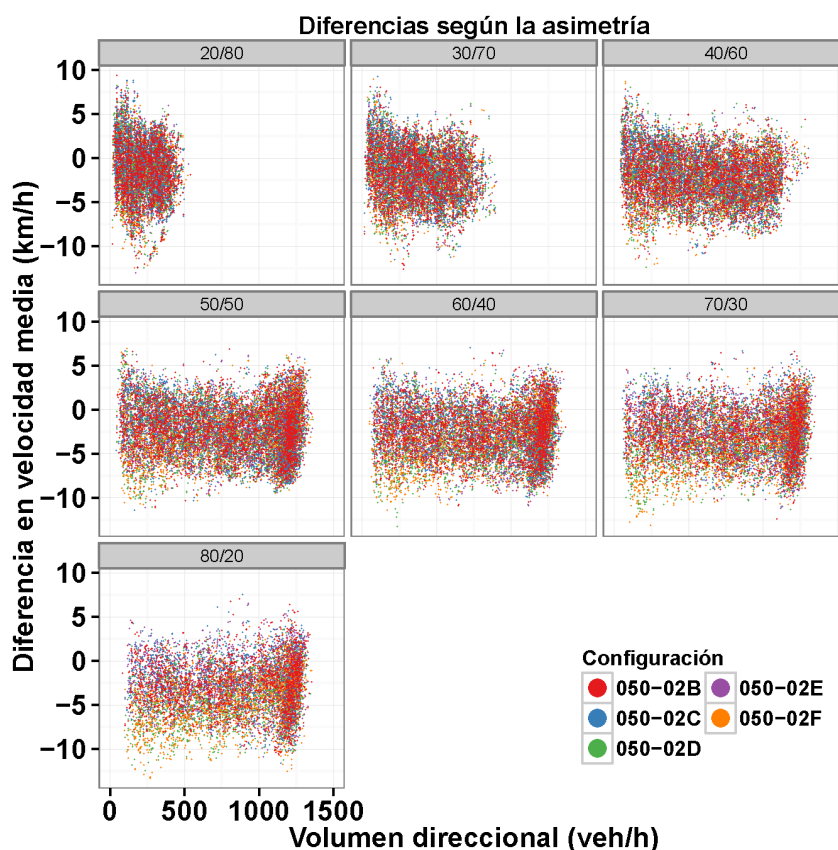
**Figura 11.18:** Diferencia en la velocidad media de la configuración 050-01 y las configuraciones asimétricas con longitud 5000 m

La configuración 050-01B proporciona valores positivos en prácticamente todos los escenarios, luego la velocidad media es superior que en la configuración simétrica. Por su parte, la configuración 050-01C presenta diferencias negativas, resultando así en una velocidad media inferior que en la configuración simétrica. Estas conclusiones verifican la hipótesis de que la localización preferible de las zonas de adelantamiento es al final del segmento, una vez se han formado colas por alcance, en lugar de al principio del segmento donde las colas son menores y la zona de adelantamiento sólo disuelve colas generadas al inicio y posteriormente en el tramo final se acumula mayor número de vehículos en cola. Además, son congruentes con el número de adelantamientos, que es superior en la configuración 050-01B.

En cada configuración se puede observar que las diferencias son mayores al mejorar el reparto y que varían ligeramente en función del volumen direccional. Esta variación es, en todo caso, inferior que la propia dispersión de la variable.

Una vez analizadas las configuraciones con longitud media de la zona de adelantamiento de 5000 m, se han estudiado las configuraciones con longitud media de 2500 m. Los valores medios se resumen en la Figura 11.19.

La diferencia media es negativa en todos los casos, lo cual indica que la configuración simétrica produce velocidades medias superiores que todas las configuraciones asimétricas aunque producía menos adelantamientos. Este hecho se contrapone con lo ocurrido en las configuraciones de 5000 m, donde la configuración C producía más adelantamientos que la configuración simétrica. La compen-



**Figura 11.19:** Diferencia en la velocidad media de la configuración 050-02 y las configuraciones asimétricas con longitud 2500 m

sación entre pérdida de funcionalidad global y número de adelantamientos se produce para longitudes medias de zona de adelantamiento permitido entre 2500 y 5000 m.

A pesar de que sería preferible concentrar las zonas de adelantamiento en el final del segmento para satisfacer la demanda de adelantamiento, ello conlleva que en el sentido opuesto se permita el adelantamiento al principio del segmento y, de esa manera, los huecos que se pueden presentar suelen ser menores, con una distribución de llegada más uniforme. De esta manera, la oferta de adelantamientos disminuye en el final del segmento, donde la demanda de adelantamientos es superior. Por tanto, en la configuración simétrica, donde la prohibición del adelantamiento en ambos sentidos permite la agrupación de vehículos, aumenta la demanda de adelantamientos y aumenta la oferta de adelantamientos por los pelotones en el sentido contrario (en lugar de tener vehículos aislados a distintas velocidades).

Si se comparan las configuraciones asimétricas, las configuraciones con mayor concentración de adelantamiento permitido en el final del segmento (C, E) presentan menores diferencias con la configuración simétrica, seguida de la configuración B. Las configuraciones D y F son las que producen peores resultados. Esta conclusión verifica la hipótesis de que las zonas de adelantamiento son más efectivas si existen colas ya formadas, aumentando el número de adelantamientos y la velocidad media global, mejorando así la funcionalidad de la vía.

Dada una configuración, las diferencias aumentan con el reparto más favorable, como en las configuraciones de 5000 m. Las diferencias también varían con el volumen direccional, con una diferencia máxima entre 600 y 800 veh/h, para todos los repartos.

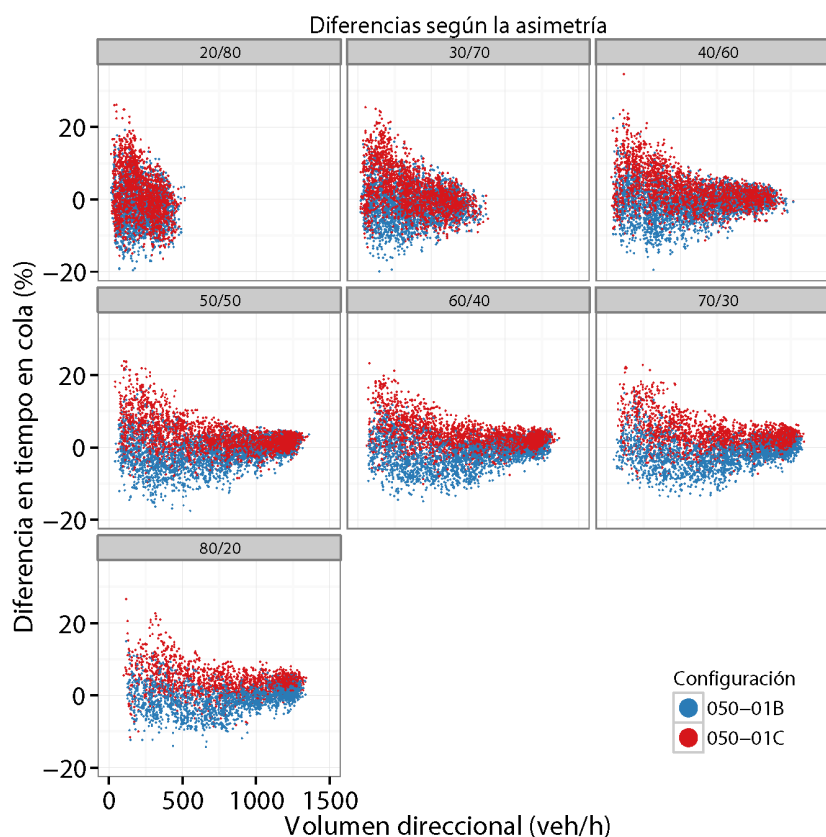
Por otro lado, las diferencias provocadas por la asimetría serían comparables con una reducción de la longitud media de las zonas de 2500 m a 714 m, y en algunos casos hasta 500 m. Por tanto, la



asimetría puede producir diferencias que, aunque no parezcan significativas en valor absoluto, son relativamente elevadas.

#### 11.4.4.2 Porcentaje de tiempo en cola

El análisis del porcentaje de tiempo en cola en las configuraciones asimétricas se ha realizado igual que el de la velocidad media. Los resultados son congruentes con los de velocidad media, si bien las diferencias son más acusadas en el porcentaje de tiempo en cola (Figura 11.20).

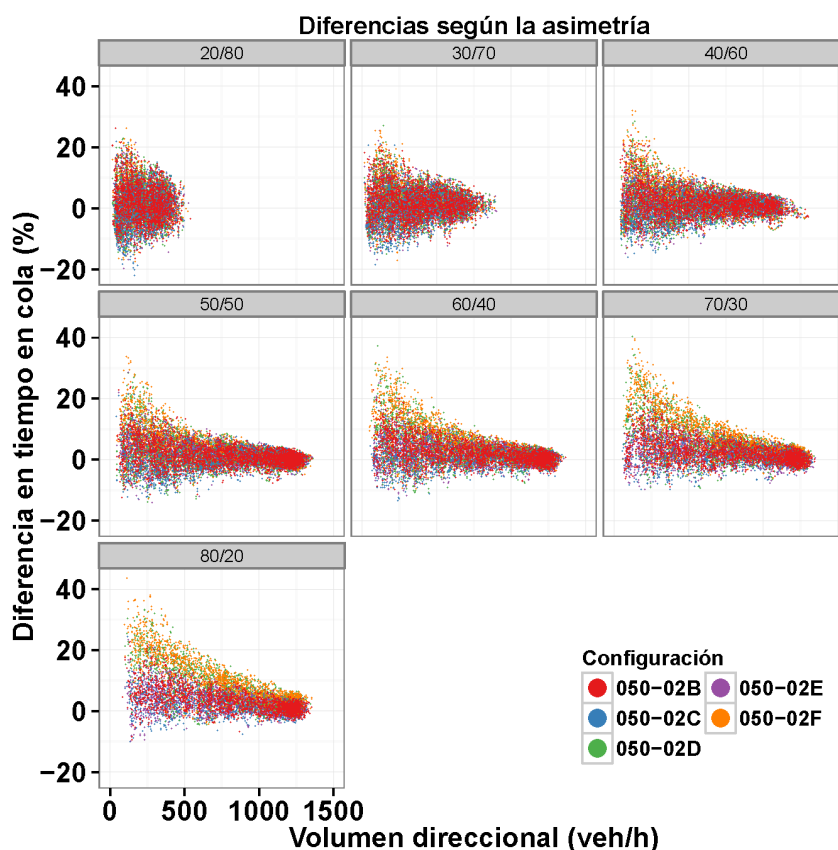


**Figura 11.20:** Diferencia en la velocidad media de la configuración 050-01 y las configuraciones asimétricas con longitud 5000 m

Las diferencias dependen ligeramente del reparto, en ambas configuraciones y se reducen al aumentar el volumen direccional. Prácticamente son nulas en volúmenes elevados. Todas las conclusiones son compatibles con la hipótesis inicial de que las variaciones de distribución tienen escasas consecuencias en escenarios donde existen pocos o nulos adelantamientos, como son los volúmenes elevados.

La configuración 050-02B proporciona diferencias negativas, por lo que es más funcional que la configuración simétrica. Las diferencias son máximas para un volumen direccional entre 400 y 600 veh/h, si bien este valor óptimo se reduce con repartos menos favorables. Por su parte, la configuración 050-02C produce peores resultados que la configuración simétrica, aumentando el porcentaje de tiempo en cola hasta un 20 % en volumen direccional bajo. Las mayores diferencias, en este caso, se producen en volúmenes bajos aunque existe una gran dispersión de los resultados en ese rango de volumen direccional. El comportamiento es congruente con la velocidad media.

Posteriormente, se han analizado las configuraciones con longitud media de 2500 m. Las diferencias se observan en la Figura 11.21.



**Figura 11.21:** Diferencia en el porcentaje de tiempo en cola de la configuración 050-02 y las configuraciones asimétricas con longitud 2500 m

Las diferencias entre el porcentaje de tiempo en cola en la configuración simétrica y las configuraciones asimétricas son prácticamente positivas en todas las configuraciones y condiciones de tráfico. En consecuencia, la configuración simétrica es más funcional que las asimétricas, acorde con los resultados de la velocidad media. No obstante, existen algunos casos aislados en los que las configuraciones asimétricas presentan mejor comportamiento con volumen direccional bajo, donde la agrupación de vehículos en pelotones en el sentido opuesto no es muy significativa. Por tanto, se confirma que la configuración simétrica produce mejores resultados que las asimétricas, a pesar de que su distribución pueda no ser la más favorable a priori.

Dentro de las configuraciones asimétricas, las configuraciones C y E vuelven a presentar las menores diferencias, seguidas de la configuración B. Se verifica también en el porcentaje de tiempo en cola que las zonas de adelantamiento son más efectivas si existen colas ya formadas, ya que existen más vehículos con deseo de adelantar, aumenta el número de adelantamientos y se reduce la demora, mejorando así la funcionalidad de la vía.

Por otro lado, se verifica que las diferencias se minimizan en aquellos casos donde el número de adelantamientos esperable es menor, como en volúmenes muy elevados (superiores a 800 veh/h en flujo compensado), o con repartos poco favorables.

Al igual que con la velocidad media, se ha comparado la diferencia producida por la asimetría y la producida por la longitud media de las zonas de adelantamiento. En las configuraciones más desfavorables (D,F), las diferencias son asimilables a una reducción de la longitud media de las zonas de adelantamiento de 2500 m a 714 m, mientras que en las más favorables (C,E), la reducción es a 1000 m. En consecuencia, la asimetría produce diferencias considerables y debería tenerse en cuenta para la cuantificación del desempeño.

# Capítulo 12

## Discusión

En este Capítulo se desarrolla la discusión de los modelos desarrollados en el estudio experimental y el estudio mediante microsimulación. En la Sección 12.1 se detalla la discusión de la funcionalidad antes de las zonas de adelantamiento observadas, mientras que en la Sección 12.2 se centra en la efectividad de las zonas de adelantamiento observadas. Finalmente, en la Sección 12.3.1 se incluye la discusión en los segmentos de carretera convencional.

### 12.1 Funcionalidad en secciones de carretera convencional

En esta Sección se presenta la discusión de los modelos desarrollados en el Capítulo 9. Para ello, se compararán los datos de campo con los modelos desarrollados, las normativas internacionales y otras investigaciones previas.

Para ello, se ha seguido la siguiente metodología con cada medida de desempeño:

- Estimación de la medida de desempeño aplicando el modelo de campo a partir de las observaciones de campo.
- Estimación de la medida de desempeño a partir de las observaciones de campo, aplicando los modelos del Estado del Arte. Los volúmenes de tráfico se han ajustado a las condiciones base de cada metodología.
- Cálculo de la diferencia media entre la estimación y el valor observado.
- Análisis gráfico de las diferencias observadas y discusión entre modelos.

Los errores medios de las estimaciones se encuentran en las Tablas 12.1 a 12.6. Además, en las Figuras 12.1 y 12.2 se han representado los valores observados y las estimaciones de los modelos.

El modelo desarrollado a partir de los datos de campo produce mejores estimaciones que los modelos previos en todas las medidas de seguimiento. No obstante, en la velocidad media existen algunos modelos con menor error medio.

En la velocidad media (Tabla 12.1), el modelo desarrollado por Romana y Núñez (2011) para la M-305 presenta el menor error medio, seguido de las estimaciones del HCM 2010 y de Bessa y Setti (2011), con sobreestimaciones medias de 6.1 y 6.9 km/h. En la Figura 12.1 se aprecia la gran dispersión de la variable, con velocidades observadas entre 70 y 115 km/h. El modelo desarrollado sobreestima la velocidad en los escenarios con menor flujo y se adapta bien en los escenarios con velocidad límite de 80 km/h.

Modelo	Error (km/h)
Modelo de campo	9.63
HCM-EEUU	6.13
HCM-Brasil	6.87
HCM-Argentina	8.24
Hashim y Adbel-Wahed (2011)	-28.87
Núñez, M-509 (2012)	-16.53
Núñez M-305 (2012)	-0.27

**Tabla 12.1:** Error medio estimado en los modelos de velocidad media

En el porcentaje de vehículos en cola, el modelo desarrollado tiene el error medio más reducido (-0.29%), seguido del modelo de Bessa y Setti (2011) (-0.41%). El HCM 2010 es la normativa que produce peores estimaciones, con una diferencia media del 8%. Las mayores diferencias se producen en los datos de la CV-405, donde el límite de velocidad es de 80 km/h, por lo que los factores de ajuste para carreteras con límite de velocidad de 80 km/h (55 mph) pueden no ser tan precisos como los de 100 km/h (65 mph). Además, el HCM 2010 predice un mayor porcentaje de vehículos en cola en escenarios con tráfico direccional menor a 250 veh/h, lo que puede indicar que la extrapolación del comportamiento en volúmenes de tráfico medios-elevados de sus datos de campo a volúmenes de tráfico bajos mediante simulación puede no ser muy precisa.

Modelo	Error (%)
Modelo de campo	-0.29
HCM-EEUU	8.72
HCM-Finlandia	-3.28
HCM-Brasil	-0.41
HCM-Argentina	-2.53
Al-Kaisy y Durbin (2008) - ponderado	-14.02
Al-Kaisy y Durbin I (2008) - estadístico	-2.07
Al-Kaisy y Karjala (2008)	-3.21
Polus y Cohen (2009)	-15.60
Rozenshtein et al. (2012)	-16.61
Hashim y Adbel-Wahed (2011)	-11.63
Romana y López (1998)	2.12

**Tabla 12.2:** Error medio estimado en los modelos de porcentaje de vehículos en cola

En todo caso, las normativas presentan una forma funcional similar a la observada en campo, al contrario que los estudios de campo, que proponen una relación lineal. Los estudios en Montana (Al-Kaisy y Karjala, 2008; Al-Kaisy y Durbin, 2008; Al-Kaisy y Durbin, 2008) estiman un porcentaje similar en su rango de tráfico direccional más observado (entre 100 y 200 veh/h). Los modelos de Israel (Polus y Cohen, 2009; Rozenshtein et al., 2012) y Egipto (Hashim y Abdel-Wahed, 2011) muestran una estimación del porcentaje de vehículos en cola muy inferior a la de los datos experimentales, lo que puede indicar un menor efecto de apilamiento. Este puede deberse a un comportamiento más agresivo, diferencias locales, o diferencias en las vías. Por ejemplo, en las vías observadas en Egipto tienen un límite de velocidad de 60 km/h y tienen un porcentaje de vehículos pesados muy bajo. Por otro lado, las diferencias con los modelos de Israel pueden ser consecuencia del incumplimiento de algunas hipótesis básicas de la teoría de colas en las carreteras españolas, como el deseo de adelantar si la velocidad es inferior a la velocidad deseada y el adelantamiento ordenado dentro de la cola. Por último, el modelo de Romana y López (1998) produce mejores estimaciones, a pesar de que el intervalo de seguimiento se fijó en 4 segundos.

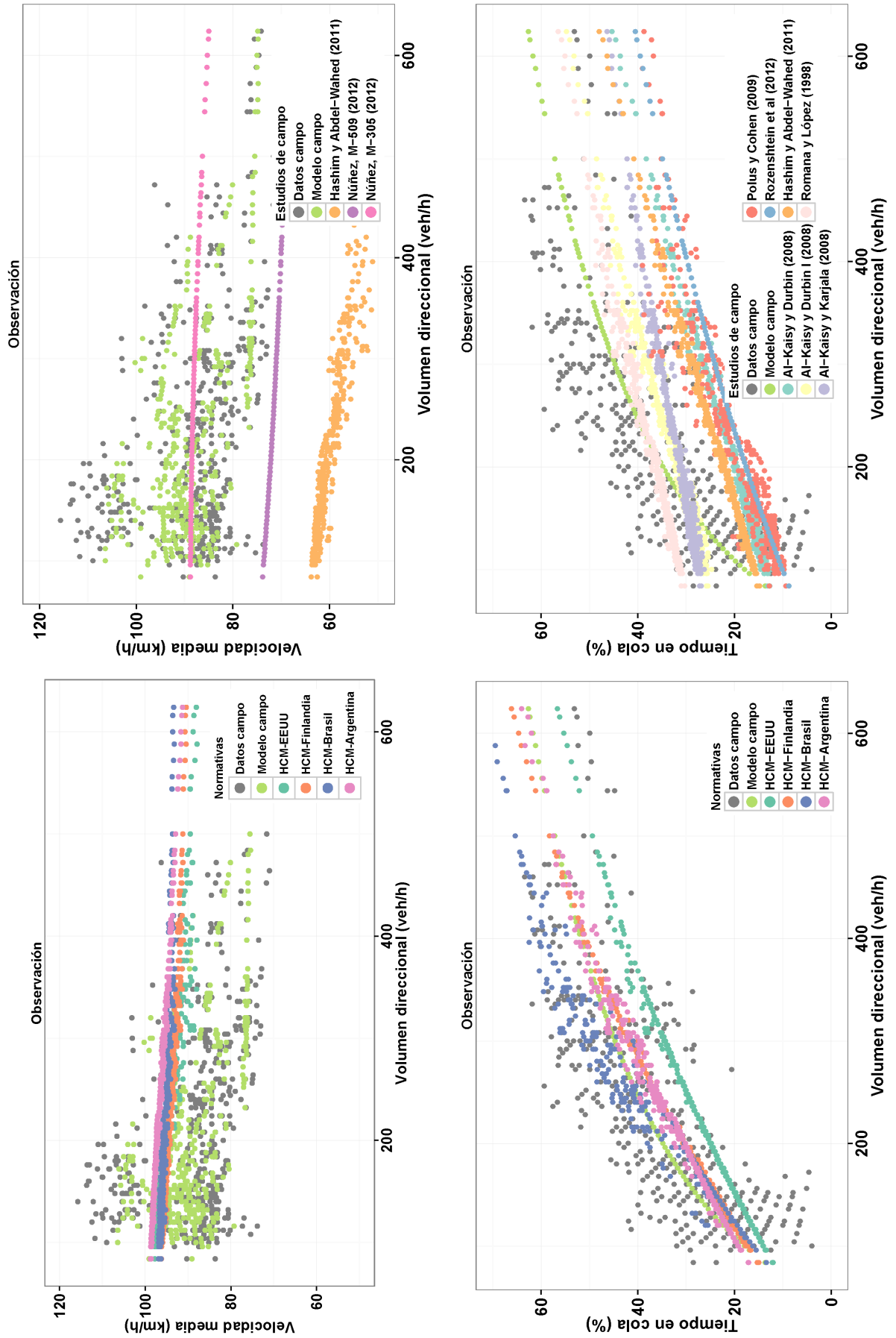


Figura 12.1: Comparación de la estimación de velocidad media y porcentaje de tiempo en cola

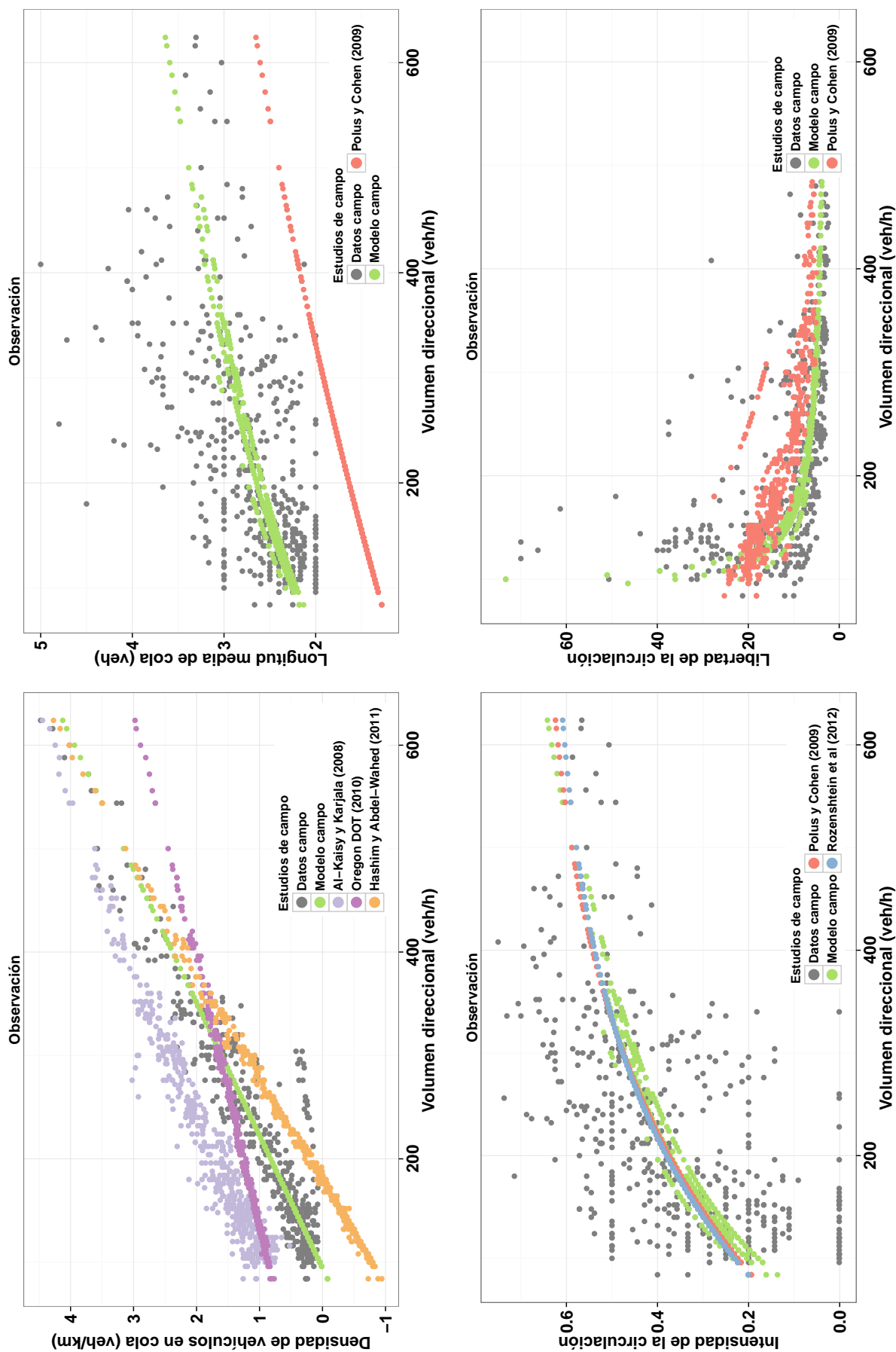


Figura 12.2: Comparación de la estimación de las medidas de seguimiento

La predicción de la densidad de vehículos en cola del modelo de Oregón (Oregon Department of Transportation, 2010) es similar a los datos experimentales en flujos entre 200 y 300 veh/h, mientras que en flujos más bajos, el modelo proporciona de forma consistente mayores predicciones. El error medio es de 0.34 seguidores/km. De forma contraria, el modelo de Al-Kaisy y Karjala (2008) presenta un mejor ajuste en flujos de tráfico más elevados y sobreestima la densidad de vehículos en cola en flujos inferiores a 400 veh/h. Al igual que en el porcentaje de vehículos en cola, el estudio de Egipto (Hashim y Abdel-Wahed, 2011) tiene una menor estimación en la densidad de vehículos en cola, por el comportamiento más agresivo de los conductores. La regresión incluso predice valores negativos con flujos de tráfico inferiores a 200 veh/h.

Modelo	Error (foll/km)
Modelo de campo	0.00
Al-Kaisy y Karjala (2008)	0.85
Oregon DOT (2010)	0.34
Hashim y Adbel-Wahed (2011)	-0.56

**Tabla 12.3:** Error medio estimado en los modelos de densidad de vehículos en cola

Finalmente, las medidas de seguimiento derivadas de la teoría de colas tienen buenas estimaciones en la intensidad de la circulación, aunque para su cálculo fue necesario eliminar un 7 % de la muestra porque se producía una división por cero. En la libertad de circulación, el error medio es mayor en el modelo, pero las diferencias mayores se producen principalmente con los valores anómalos.

Modelo	APL (veh)	$\rho$	$\eta$
Modelo de campo	-0.06	0.00	2.1
Polus y Cohen (2009)	-1.03	0.01	1.1
Rozenshtein et al. (2012)		0.02	

APL: longitud de cola;  $\rho$ : intensidad de la circulación;  $\eta$ : libertad de la circulación

**Tabla 12.4:** Error medio estimado en los modelos de variables derivadas de teoría de colas

## 12.2 Efectividad de las zonas de adelantamiento

La efectividad de las zonas de adelantamiento se ha evaluado en función del número de adelantamientos y del ratio de adelantamientos. La metodología seguida es la misma que en la Sección 12.1. Se ha homogeneizado la longitud y el tiempo para la comparación entre modelos. Se ha considerado un periodo horario y la longitud de cada zona de adelantamiento observada, que en ninguno de los casos fue de 1 km.

En las Tablas 12.5 y 12.6 se resumen los errores medios respecto a las observaciones. El modelo desarrollado es el que menor error medio produce, con 0.44 adelantamientos por hora, seguido del modelo de Hegeman (2008) y Mwesige et al. (2014a). Los modelos teóricos son los que aumentan más los adelantamientos, con un error medio de hasta 20.5 ad/h.

Modelo	Error (ad/h)
Modelo de campo	0.44
Wardrop (1952)	20.51
Dommerholt y Botma (1988)	15.92
Hegeman (2008)	-11.90
Morral y Werner (1984)	31.69
Mwesige et al. (2014a)	12.47

**Tabla 12.5:** Error medio estimado en los modelos de adelantamiento

En la Figura 12.3 se observa dónde se producen las mayores diferencias en función de la longitud de zona de adelantamiento. En todos los casos, el modelo propuesto sigue la forma funcional de la

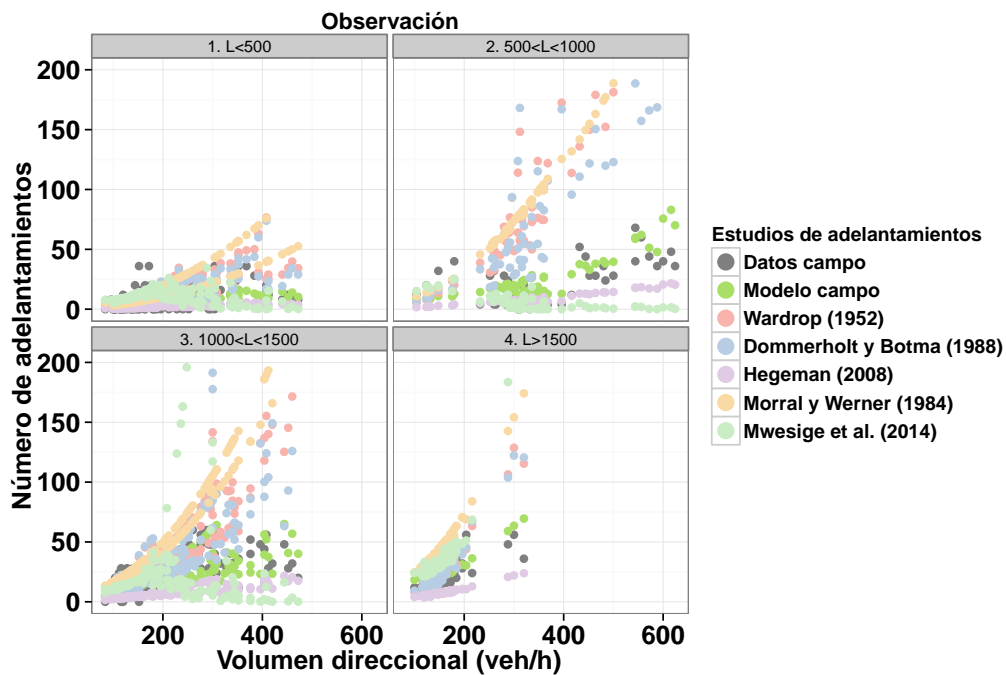


Figura 12.3: Comparación de la estimación de adelantamientos

variable, aunque existe cierta dispersión que justifica el error medio encontrado. El modelo de Hegeman (2008) puede definir el número de adelantamientos mínimo de la distribución. Las diferencias pueden deberse a la restricción de adelantamiento por seguridad vial en lugar de operacional, lo cual condiciona a los conductores antes de ejecutar la maniobra.

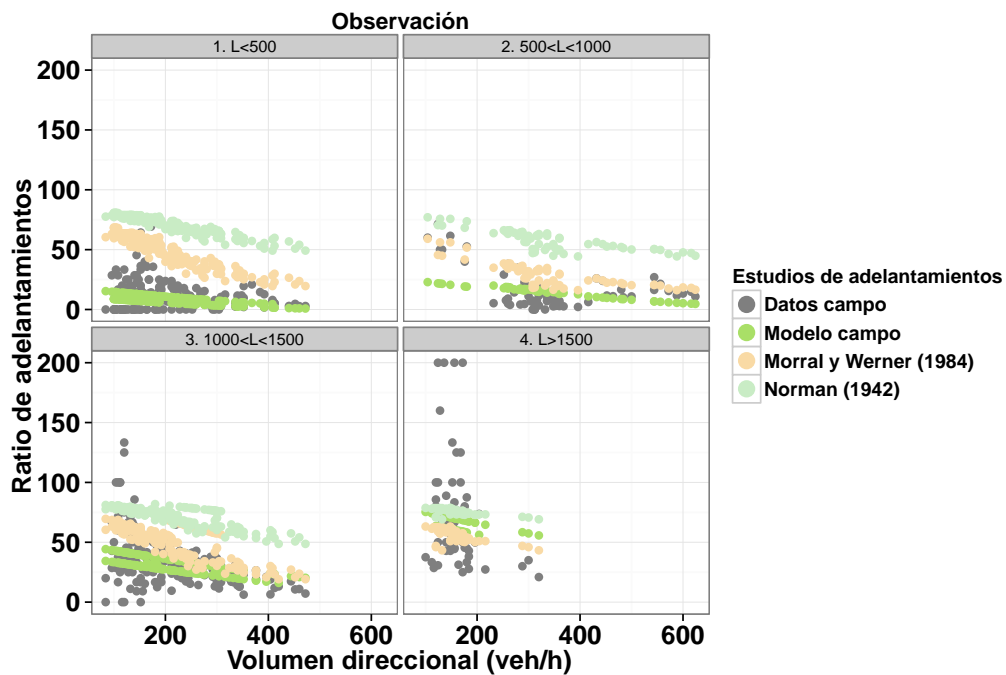


Figura 12.4: Comparación de la estimación de ratio de adelantamientos



Los modelos teóricos son límites superiores del número de adelantamientos y únicamente son comparables con las observaciones si el volumen direccional es inferior a 200 veh/h.

Por su parte, el modelo de Mwesige et al. (2014a) tiene un error similar pero la forma funcional difiere considerablemente. La menor frecuencia de adelantamientos y consiguiente desplazamiento del óptimo de adelantamientos hasta una intensidad de 200 veh/h puede estar ocasionada por la velocidad límite inferior, de 80 km/h, o por menores prestaciones de los vehículos en Uganda. Por tanto, los modelos no serían aplicables a las condiciones españolas.

Finalmente, el análisis es similar en el ratio de adelantamientos. La dependencia de la longitud de la zona es visible (Figura 12.4), por lo que el modelo desarrollado produce mejores resultados en todos los escenarios, si bien se debería ajustar mejor.

Modelo	Error (ad/h)
Modelo de campo	-3.66
Normann (1942)	41.00
Morrall y Werner (1990)	18.37

**Tabla 12.6:** Error medio estimado en los modelos de ratio de adelantamientos

## 12.3 Segmentos de carretera convencional

En esta Sección se desarrolla la discusión de los modelos desarrollados en el Capítulo 11. Para ello, se compararán los resultados de la simulación con los modelos desarrollados, las normativas internacionales y otros estudios de campo.

Como datos de entrada para los modelos se han empleado los datos brutos de la simulación en TWO-PAS y posteriormente se ha calculado la diferencia entre el resultado de la simulación y la estimación del modelo. Los volúmenes de tráfico se han ajustado a las condiciones base de cada metodología.

La discusión se divide en tres partes, una por cada medida estudiada: velocidad media, porcentaje de tiempo en cola y número de adelantamientos.

### 12.3.1 Velocidad media

En primer lugar se ha comparado la velocidad media obtenida con la simulación en TWOPAS y las distintas metodologías. En la Tabla 12.7 se muestra el error medio en la estimación de la velocidad media, para cada configuración de zonas de adelantamiento. Se han considerado el modelo desarrollado, las normativas internacionales y los cuatro estudios de campo que incluían la estimación de velocidad media.

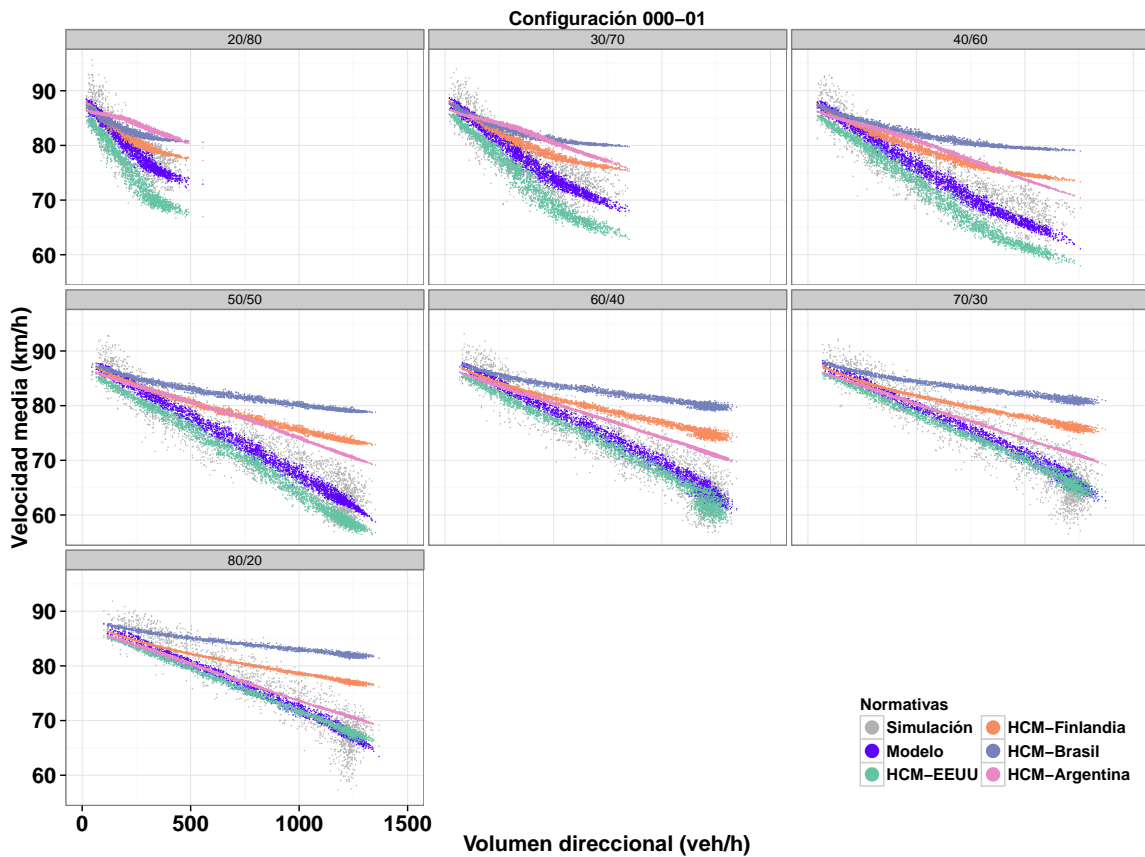
El mejor ajuste del modelo desarrollado y el HCM 2010 con los datos de simulación se debe a que los dos se desarrollaron a partir de simulaciones en TWOPAS. Por su parte, el modelo brasileño Bessa y Setti (2011) proporciona peor ajuste a pesar de emplear el mismo simulador de tráfico, ya que la forma funcional empleada era cóncava. En el caso de Hashim y Abdel-Wahed (2011), las grandes diferencias se deben a la velocidad máxima permitida en sus vías, de 60 km/h, en comparación con los 100 km/h de las carreteras simuladas. Las diferencias son mayores al reducirse la longitud media de zonas de adelantamiento. El modelo con datos de campo produce buenos resultados en las configuraciones con 50 % de zona de adelantamiento no permitido, si bien las diferencias son muy elevadas en la configuración base (incrementa la velocidad en 50 km/h) y en la configuración donde no se permite el adelantamiento. En dichas configuraciones, con gran diferencia de porcentaje de adelantamiento no permitido, no son aplicables.

Por otro lado, se ha estudiado el error en la estimación en función del reparto y el volumen direccional, para cada configuración. En la Figura 12.5 se muestran las estimaciones en función del reparto y el volumen direccional, para la configuración base. Igualmente, se han representado los resultados de la simulación.

PZ_ID	Modelo	N(1)	N(2)	N(3)	N(4)	E(1)	E(2a)	E(2b)	E(3)
000-01	-0.09	-2.63	4.77	7.82	3.85	-29.07	-6.39	15.99	54.06
050-01	-0.14	-2.83	5.67	8.72	3.65	-28.17	-5.48	16.87	6.26
050-01B	-0.44	-3.14	5.35	8.40	3.34	-28.48	-5.79	16.54	5.99
050-01C	0.36	-2.32	6.17	9.22	4.14	-27.66	-4.98	17.38	6.73
050-02	0.06	-2.77	5.74	8.79	3.71	-28.12	-5.42	16.96	6.31
050-02B	2.18	-0.64	7.87	10.93	5.85	-26.00	-3.27	19.11	8.41
050-02C	1.90	-0.93	7.57	10.63	5.56	-26.28	-3.57	18.79	8.17
050-02D	2.59	-0.23	8.27	11.32	6.24	-25.58	-2.88	19.49	8.85
050-02E	2.11	-0.72	7.78	10.83	5.77	-26.07	-3.36	18.99	8.41
050-02F	2.81	-0.02	8.49	11.54	6.47	-25.37	-2.66	19.70	9.05
050-03	0.07	-2.64	5.86	8.91	3.84	-27.98	-5.29	17.06	6.46
050-04	0.07	-2.52	5.99	9.04	3.97	-27.87	-5.16	17.21	6.57
050-04B	2.12	-0.47	8.03	11.07	6.00	-25.81	-3.13	19.23	8.61
050-05	0.05	-2.38	6.13	9.18	4.67	-27.72	-5.02	17.34	6.72
050-07	0.07	-0.14	8.33	11.37	6.31	-25.46	-2.82	19.50	9.00
050-10	0.05	-1.80	6.70	9.75	4.67	-27.15	-4.45	17.90	7.29
050-10B	2.16	0.30	8.80	11.85	6.79	-25.06	-2.34	20.02	9.37
050-20	0.06	0.55	9.04	12.09	7.03	-24.79	-2.10	20.23	9.63
100-00	-0.12	-2.60	7.09	10.15	3.89	-26.77	-4.05	18.31	-41.1

N(1): Estados Unidos; N(2): Finlandia; N(3): Brasil; N(4): Argentina;  
 E(1): Hashim y Abdel-Habeb; E(2a): Núñez, M-509; E(2b): Núñez, M-305  
 E(3): Modelo con datos de campo

**Tabla 12.7:** Error medio en la estimación de velocidad media (km/h) en las configuraciones de zonas de adelantamiento



**Figura 12.5:** Comparación de la estimación de la velocidad media en las distintas normativas

Como se puede observar, el mejor ajuste se produce con el modelo propuesto, si bien la dispersión de la velocidad media es considerable. Las estimaciones del HCM 2010 son generalmente inferiores a los valores medios de la simulación, aunque se encuentran en la banda inferior de los resultados de la simulación. El modelo argentino (Maldonado et al., 2012) se ajusta bien en repartos muy favorables (a partir de 70/30), si bien sobreestima la velocidad en gran medida en repartos poco favorables. Por su parte, el modelo brasileño (Bessa y Setti, 2011) y finlandés (Luttinen, 2000) sobreestiman la velocidad en todos los repartos, aumentando las diferencias con el volumen direccional, aunque las diferencias son inferiores en repartos poco favorables. En todos los repartos, los modelos infraestiman ligeramente la velocidad media en volúmenes direccionales inferiores a 200 veh/h.

Además, se ha comparado el modelo propuesto con los resultados de otras investigaciones (Figura 12.6). Los otros dos estudios de campo proporcionan valores muy diferentes. El modelo de (Hashim y Abdel-Wahed, 2011) subestima la velocidad en todos los casos en más de 20 km/h, ya que la velocidad límite en las vías estudiadas es considerablemente menor (60 km/h).

Por su parte, el modelo desarrollado por Núñez (2011) en la M-305 predice buenos resultados en flujos bajos, para todos los repartos. Las diferencias son considerables en flujos elevados. El modelo de la M-509 difiere y proporciona un mejor ajuste en flujos elevados. Las diferencias pueden deberse a la falta de cifras significativas en el modelo, ya que sólo reportaron una cifra para el término elevado al cubo.

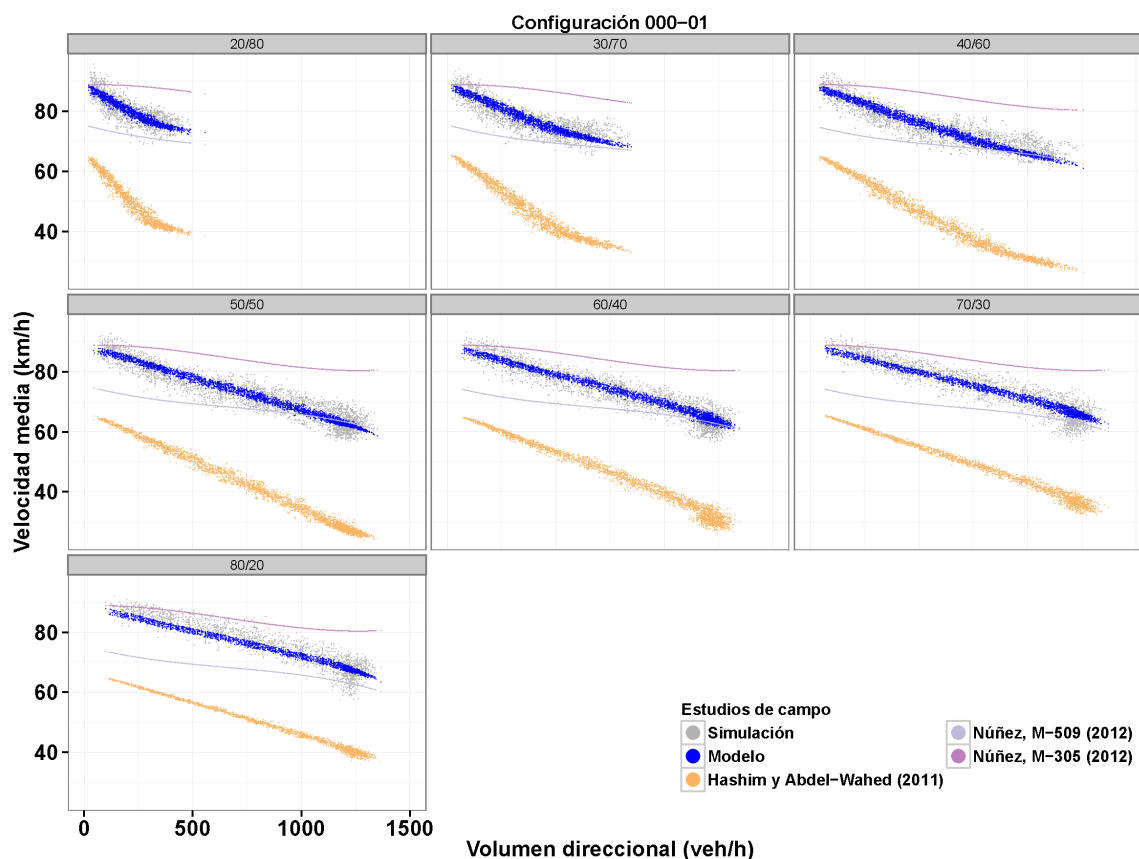


Figura 12.6: Comparación de la estimación de la velocidad media con estudios de campo

Además de la configuración base, se han estudiado las diferencias en otras configuraciones. Las tendencias anteriores se mantienen, con mayores diferencias medias al reducir la longitud media de adelantamiento. La excepción es el HCM 2010, que en la configuración sin adelantamiento permitido presenta menores diferencias en flujos favorables (a partir de 60/40). En la configuración con 50 % de zona de adelantamiento permitido, la estimación con el modelo de campo es muy similar a

la del modelo de simulación y los datos de la simulación; dentro del rango de observación. Los otros estudios de campo producen peores estimaciones, incluso en volumen de tráfico elevado.

### 12.3.2 Porcentaje de tiempo en cola

Tras el estudio de la velocidad media, se ha analizado el porcentaje de tiempo en cola. Se han considerado las normativas de Estados Unidos, Finlandia, Brasil y Argentina; y los estudios de campo que proporcionaron una estimación del porcentaje de vehículos en cola. El criterio para diferenciar los vehículos en cola fue de 3 segundos, acorde con el HCM 2010, excepto en el estudio de Romana y López (1998), con un criterio de 4 segundos. En la Tabla 12.8 se muestran las diferencias medias entre la estimación del porcentaje de tiempo en cola y el resultado de la simulación.

PZ_ID	Modelo	N(1)	N(2)	N(3)	N(4)	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)	E(5)	E(6)	E(7)	E(8)
000-01	0.04	-6.86	-10.68	-0.87	-1.52	-24.16	-16.03	-24.25	-21.91	-28.65	-15.26	-6.53	-9.75
050-01	-0.08	-1.87	-9.9	-3.93	3.47	-21.59	-12.27	-21.94	-24.98	-31.74	-18.37	-9.63	-12.84
050-01B	1.21	-0.68	-8.63	-2.64	4.66	-20.32	-10.99	-20.66	-23.66	-30.46	-17.11	-8.35	-11.57
050-01C	-2.4	-4.24	-12.2	-6.26	1.11	-23.9	-14.59	-24.28	-27.34	-34.06	-20.68	-11.96	-15.15
050-02	0.02	-2.1	-10.14	-4.2	3.24	-21.77	-12.46	-22.15	-25.21	-31.96	-18.56	-9.83	-13.11
050-02B	-1.83	-4.05	-12.01	-6.05	1.28	-23.67	-14.36	-24.07	-27.09	-33.87	-20.45	-11.74	-14.99
050-02C	-0.62	-2.83	-10.82	-4.83	2.52	-22.55	-13.24	-22.93	-25.93	-32.7	-19.33	-10.61	-13.78
050-02D	-3.19	-5.37	-13.36	-7.4	-0.02	-25.07	-15.76	-25.47	-28.49	-35.24	-21.86	-13.14	-16.34
050-02E	-1.5	-3.72	-11.71	-5.74	1.63	-23.44	-14.12	-23.81	-26.8	-33.59	-20.22	-11.49	-14.66
050-02F	-3.98	-6.2	-14.17	-8.19	-0.85	-25.9	-16.59	-26.29	-29.29	-36.06	-22.69	-13.97	-17.16
050-03	0.02	-2.58	-10.56	-4.57	2.77	-22.29	-12.97	-22.65	-25.66	-32.43	-19.07	-10.34	-13.5
050-04	0.01	-3.2	-11.15	-5.15	2.15	-22.88	-13.56	-23.26	-26.25	-33.03	-19.66	-10.94	-14.1
050-04B	-1.29	-4.42	-12.41	-6.45	0.92	-24.09	-14.77	-24.45	-27.48	-34.24	-20.87	-12.13	-15.36
050-05	0.03	-3.75	-11.75	-5.81	1.59	-23.44	-14.12	-23.81	-26.85	-33.6	-20.22	-11.49	-14.69
050-07	0.04	-5.96	-13.98	-8.01	-0.6	-25.73	-16.4	-26.05	-29.08	-35.82	-22.51	-13.76	-16.92
050-10	0.07	-6.22	-14.18	-8.2	-0.88	-25.9	-16.58	-26.27	-29.28	-36.05	-22.69	-13.96	-17.13
050-10B	-1.21	-7.47	-15.42	-9.45	-2.12	-27.13	-17.82	-27.52	-30.53	-37.29	-23.92	-15.19	-18.39
050-20	0.07	-8.33	-16.28	-10.3	-2.97	-28.02	-18.7	-28.37	-31.38	-38.15	-24.8	-16.06	-19.25
100-00	-0.26	-5.03	-12.13	-9.5	0.31	-21.51	-11.01	-22.18	-30.58	-37.36	-23.98	-15.25	-18.46

N(1): Estados Unidos; N(2): Finlandia; N(3): Brasil; N(4): Argentina;

E(1): Al-Kaisy y Durbin; E(2): Al-Kaisy y Durbin I; E(3): Al-Kaisy y Karjala; E(4): Polus y Cohen;

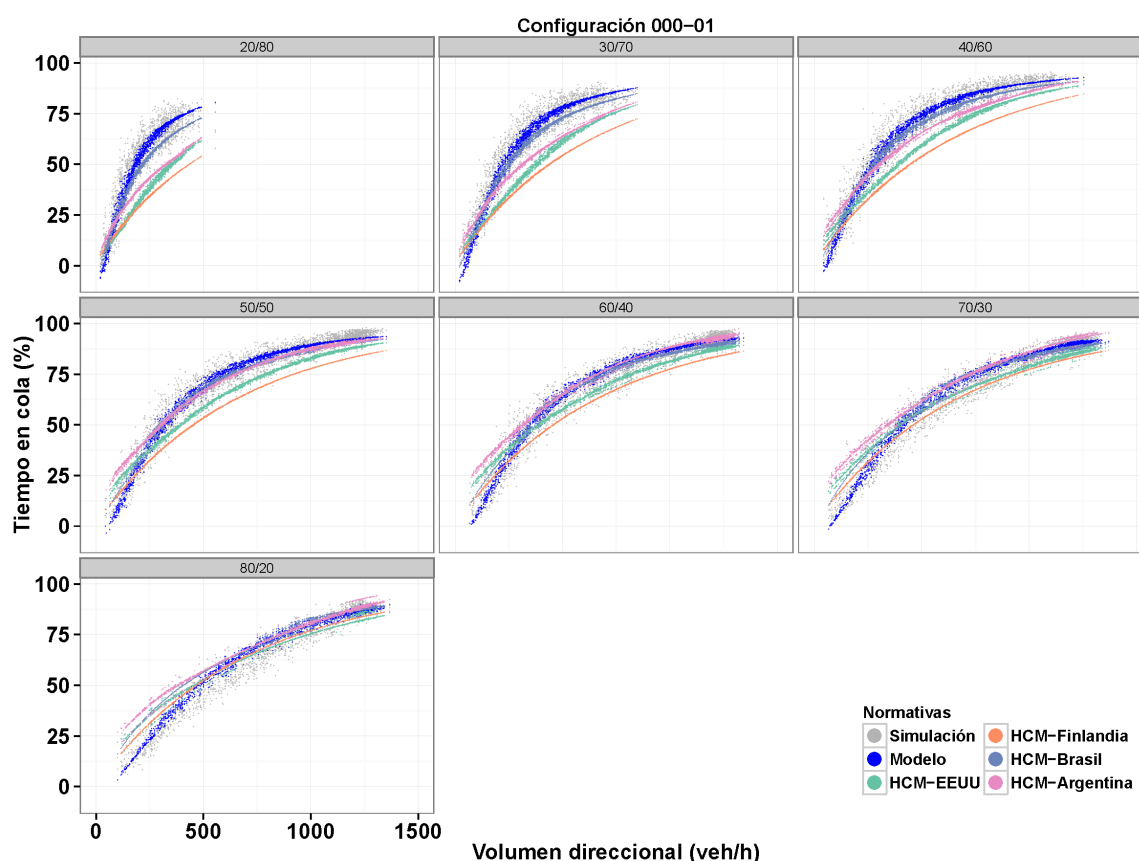
E(5): Rozensthein et al; E(6): Hashim y Abdel-Habeb; E(7): Romana y López; E(8): Modelo con datos de campo

**Tabla 12.8:** Error medio en la estimación del porcentaje de tiempo en cola (%) en las configuraciones de zonas de adelantamiento

El modelo propuesto presenta las menores diferencias medias, con errores inferiores al 0.3 % en las configuraciones simétricas. Las configuraciones asimétricas, donde no se ha producido el ajuste de los resultados, tienen mayor diferencia y alcanzan el 4 %. A nivel general, en las configuraciones asimétricas se infraestima el *PTSF*. El modelo argentino (Maldonado et al., 2012) también se aproxima bien a los resultados, aunque este modelo infraestima el *PTSF* con longitud media de zona de adelantamiento corta, y sobreestima la variable en escenarios con mayor longitud media de zona de adelantamiento. El HCM 2010 y el modelo brasileño (Bessa y Setti, 2011) infraestiman el porcentaje de tiempo en cola, para todos los escenarios estudiados. La normativa finlandesa (Luttinen, 2000) es la que más infraestima el porcentaje de tiempo en cola, con diferencias medias entre el 10 y 16 %. En todos los casos, las diferencias son mayores al reducirse la longitud media de la zona de adelantamiento.

Por su parte, todos los estudios de campo infraestiman el *PTSF* y el error aumenta al reducirse la longitud media de la zona de adelantamiento. Las diferencias se sitúan entre el 6 y 28 %, para la configuración base, y aumentan hasta el intervalo [15, 38] % en la configuración sin adelantamiento permitido. El modelo de campo que más se aproxima a nivel medio los resultados es el de Romana y López (1998), seguido del desarrollado a partir de las observaciones.

Con el fin de determinar si el error en las estimaciones es uniforme en todos los escenarios de tráfico, se han calculado las diferencias medias en función del reparto, volumen direccional y configuración de zonas de adelantamiento. En la Figura 12.7 se muestran las estimaciones y los valores de la simulación para la configuración base.

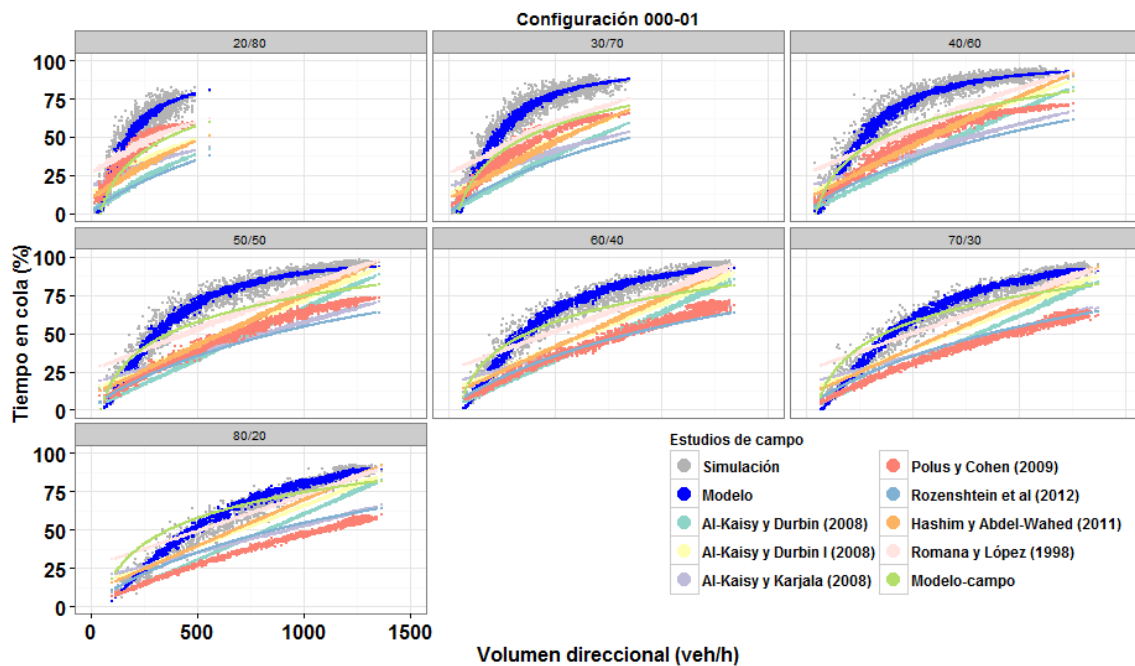


**Figura 12.7:** Comparación de la estimación del porcentaje de tiempo en cola en las distintas normativas en la configuración 000-01

La dispersión del porcentaje de tiempo en cola es inferior a la de la velocidad media, y el modelo propuesto es el que mejor se adapta en todos los escenarios de tráfico. La forma funcional del modelo de Brasil (Bessa y Setti, 2011) es el siguiente que mejor se adapta a los datos, aunque infraestima el *PTSF* un 5 % en repartos poco favorables y en los volúmenes bajos de repartos más favorables. Por su parte, el modelo argentino (Maldonado et al., 2012) presenta escasas diferencias medias, especialmente por el mejor ajuste en volúmenes de tráfico elevados en repartos a partir de 40/60. No obstante, en flujos inferiores a 250 veh/h con reparto favorable sobreestima el *PTSF* en un 20 %; y en repartos muy desfavorables, lo infraestima significativamente (diferencias de hasta el 25 %). El HCM 2010 y el modelo de Finlandia (Luttinen, 2000) infraestiman el *PTSF* en prácticamente todos los escenarios, aunque las mayores diferencias se presentan en flujos poco favorables. En flujos más desfavorables (a partir de 50/50) sobreestiman el porcentaje de vehículos en cola con flujo direccional bajo.

A diferencia de las normativas, cuya forma funcional se ajusta a los resultados de la simulación, los modelos lineales desarrollados en los distintos estudios de campo presentan grandes diferencias con la simulación (Figura 12.8).

Los modelos lineales presentan un mejor ajuste medio en volúmenes de tráfico bajos, generalmente inferiores a 200 veh/h, aunque al aumentar el nivel de tráfico las diferencias son superiores. El modelo desarrollado a partir de los resultados de campo se ajusta bien al arranque de la función en repartos compensados (entre 40/60 y 60/40) y flujo de tráfico inferior a 400 veh/h. A partir de dicho valor, el aumento del porcentaje de tiempo en cola es superior al predicho en el modelo de porcentaje de vehículos demorados, con un máximo cercano al 95 %, en contraposición del máximo del 80 % del porcentaje de vehículos en cola. El modelo de Polus y Cohen (2009) produce el mejor ajuste en repartos poco favorables, si bien al mejorar el reparto infraestima en gran medida el *PTSF*. Por su parte, el modelo lineal de Romana y López (1998), que tenía menor error medio, sobreestima el *PTSF*



**Figura 12.8:** Comparación de la estimación del porcentaje de tiempo en cola en los estudios de campo en la configuración 000-01

en flujos bajos hasta un 30 %, pero proporciona buen ajuste en volúmenes elevados, con diferencias prácticamente nulas.

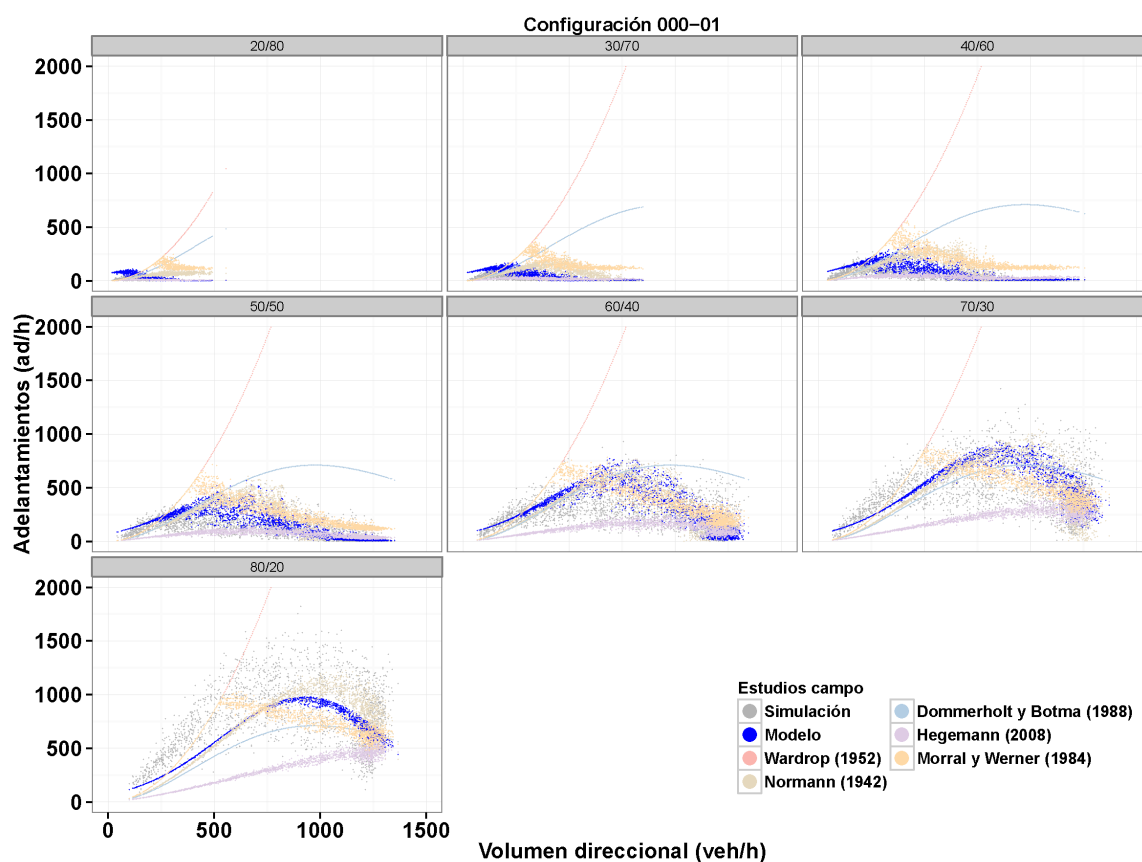
Al igual que con la velocidad media, se ha comprobado si las tendencias se mantienen al variar la configuración de las zonas de adelantamiento. La metodología brasileña presenta buenos resultados en la configuración con 50 % de adelantamiento no permitido, en todos los flujos, a pesar de que se desarrolló a partir de un escenario con 0 % de NPZ. El modelo argentino y americano, por su parte, sobreestiman en gran medida el porcentaje de tiempo en cola en repartos favorables. Esta tendencia es mayor al restringir las oportunidades de adelantamiento. En cuanto a los estudios de campo, las diferencias son superiores al reducir la longitud media de las zonas de adelantamiento no permitido.

Destacar que el modelo de Polus y Cohen (2009) infraestima el *PTSF* casi un 40 % en repartos muy favorables con el 50 % de NPZ y el 45 % con el 100 % de NPZ. Las grandes diferencias se producen por las hipótesis del propio modelo, basado en la teoría de colas. En dicho modelo, no existen restricciones al adelantamiento en toda la longitud, y todos los conductores con velocidad inferior a la deseada realizarán una maniobra de adelantamiento en cuanto el tráfico opuesto lo permita; entre otras hipótesis. En consecuencia, el número de vehículos en cola es menor y por ende el porcentaje de vehículos en cola. Este hecho contrasta con la realidad, donde el adelantamiento no está permitido en toda la longitud y no todos los conductores desean realizar una maniobra de adelantamiento.

### 12.3.3 Número de adelantamientos

Finalmente, se ha comparado el número de adelantamientos estimado por el modelo con las investigaciones previas. Al tratarse de un modelo de tramo, no se han considerado las investigaciones en zonas aisladas, como el modelo de Mwesige et al. (2014a) o el modelo desarrollado con los datos de campo. Además, puesto que los modelos previos se han desarrollado para condiciones ideales donde no existe la prohibición de adelantamiento, las estimaciones se ha realizado en la configuración 000-01. Posteriormente, se ha multiplicado el resultado, en unidades de longitud, por la longitud total del tramo (10 km). Se ha trabajado con datos horarios.

En la Figura 12.9 se muestran los resultados en función del reparto y el volumen direccional, y en la Tabla 12.9 se encuentran las diferencias medias en cada grupo de tráfico y reparto.



**Figura 12.9:** Comparación de la estimación del número de adelantamientos en los estudios previos en la configuración 000-01

Se puede observar que el modelo que mejor estima al número de adelantamientos es el propuesto, especialmente en repartos poco favorables. En repartos favorables, establece un umbral algo inferior a la media de adelantamientos de la simulación. El número estimado de adelantamientos con el modelo teórico de Wardrop (1952) y ajustado con el ratio de Normann (1942) es el segundo que mejor se ajusta. El ajuste es bastante aproximado en repartos favorables. En repartos poco favorables sobreestima el número de adelantamientos a partir de 300 veh/h.

El modelo de demanda de adelantamiento de Wardrop (1952) crece exponencialmente con el volumen direccional ya que considera el modelo M/M/1 de la teoría de colas, sin limitación a la oferta de adelantamiento. Este modelo suele emplearse como un límite superior teórico, a pesar de no contar con la interacción del volumen opuesto. Se trata de un límite teórico muy superior al real en flujos superiores a 200 veh/h y no es recomendable su empleo para la estimación. En repartos poco favorables, la sobreestimación es muy elevada en todos los rangos de flujo.

Las estimaciones de Dommerholt y Botma (1988), si bien presentan una forma similar a los resultados de la simulación, tienen valores mucho más elevados en repartos poco favorables y se ajusta algo mejor en repartos 60/40 y 70/30. Es notable que, a pesar de incluir modificaciones para reducir la demanda teórica de Wardrop (1952) para considerar el flujo opuesto, las peores estimaciones se realicen en condiciones con mayor flujo opuesto.

Por su parte, el modelo de Werner y Morrall (1984) proporciona valores algo elevados en el máximo número de adelantamientos y dicho máximo no se ajusta al reparto, ya que en repartos poco favorables el máximo se produce con un volumen direccional superior y a partir de 50/50, el máximo se

Reparto	Vd (veh/h)	Simulación	Modelo	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)	E(5)
20/80	200	15.21	46.62	109.92	41.36	76.37	8.62	91.29
	400	0.88	3.61	445.48	70.18	263.18	5.62	124.68
	600	4.00	5.58	1046.47	71.16	482.40	9.94	120.95
30/70	200	46.50	102.90	114.40	62.71	79.54	18.90	113.81
	400	28.46	39.24	532.52	137.86	299.67	20.45	219.38
	600	3.29	8.86	1193.75	69.66	514.50	12.93	128.84
	800	1.65	9.19	1898.99	-44.39	640.47	15.74	121.23
40/60	200	90.78	147.84	125.17	79.21	86.62	28.20	125.17
	400	90.60	159.83	534.19	221.68	300.38	48.66	353.55
	600	64.85	70.58	1230.41	231.58	522.32	42.63	228.90
	800	21.28	25.08	2159.48	-14.46	664.08	27.94	146.59
	1000	1.58	12.96	3379.21	-455.64	706.13	25.97	124.32
	1200	0.75	12.41	4402.20	-881.68	678.33	31.46	123.94
50/50	200	135.08	172.71	131.60	90.16	90.92	35.43	131.60
	400	201.14	290.01	524.02	272.61	296.02	74.87	449.15
	600	176.29	298.13	1223.72	406.33	521.27	93.53	397.01
	800	157.63	191.37	2176.09	329.08	666.42	89.51	276.14
	1000	92.74	70.10	3415.50	-141.56	705.48	65.65	187.06
	1200	16.12	15.75	4875.66	-1059.29	653.91	39.02	130.68
	1400	4.39	8.66	5828.76	-1676.30	595.79	35.31	120.00
60/40	200	194.23	191.31	147.56	105.98	101.49	43.81	147.56
	400	318.28	364.52	534.84	309.22	301.15	95.35	511.04
	600	345.53	540.36	1238.09	536.50	524.33	147.60	586.71
	800	358.39	521.76	2165.08	596.48	664.99	168.44	451.21
	1000	281.17	352.55	3411.19	379.63	705.45	169.39	342.81
	1200	159.41	109.63	4902.44	-462.90	652.35	116.05	220.22
	1400	213.39	87.51	5799.61	-820.07	597.74	130.98	218.33
70/30	200	248.86	191.82	145.58	108.87	100.09	47.56	145.58
	400	485.11	405.49	547.04	342.31	306.57	115.65	546.29
	600	587.05	646.27	1211.96	602.67	518.23	183.84	746.79
	800	617.45	796.52	2154.87	794.60	663.67	246.38	642.96
	1000	580.26	723.39	3419.08	781.03	705.61	291.87	541.07
	1200	406.35	410.02	4933.91	296.96	650.50	276.75	404.99
	1400	518.51	308.51	5870.62	0.66	592.98	299.34	385.75
80/20	200	333.42	308.51	164.70	126.18	112.91	56.39	164.70
	400	657.25	406.17	539.86	358.50	303.22	129.95	539.86
	600	957.77	694.18	1228.57	676.58	522.93	225.37	911.55
	800	1023.99	907.54	2146.83	938.45	663.42	315.56	837.69
	1000	963.18	926.22	3381.67	1064.12	705.58	401.47	750.26
	1200	729.45	685.19	5020.94	858.06	645.45	459.51	634.30
	1400	944.00	557.93	5858.91	704.28	593.77	502.44	615.30

E(1): Wardrop; E(2): Normann; E(3): Dommerholt y Botma; E(4): Hegemann; E(5): Werner y Morral

**Tabla 12.9:** Estimación del número de adelantamientos (ad/h) en la configuración 000-01

produce con un column inferior al real. Finalmente, el modelo de Hegeman (2008) es el que menos se ajusta a los datos y estima una frecuencia de adelantamientos muy inferior.

En otras configuraciones, las diferencias son mayores puesto que los modelos teóricos consideran una longitud infinita de adelantamiento y que no existen restricciones al mismo a lo largo de la vía.



## Capítulo 13

# Conclusiones

En este Capítulo se incluyen las principales conclusiones obtenidas de la metodología, análisis realizados y discusión de los resultados.

Las conclusiones **metodológicas** son:

- Las grabaciones de vídeo sincronizadas se pueden emplear para la toma de datos en carreteras de dos carriles y caracterizar el número de adelantamientos y la funcionalidad del tráfico.
- La calibración del microsimulador de tráfico es esencial para que el modelo represente adecuadamente la realidad observada.
- Es necesaria una mejora en TWOPAS o el empleo de otros simuladores de tráfico para el estudio en detalle del intervalo de seguimiento que mejor se asimila al porcentaje de tiempo en cola, ya que se encuentra entre 3 y 4 segundos.

Sobre las **medidas de desempeño en secciones de carretera convencional**:

- Las medidas de desempeño relacionadas con la velocidad presentan las correlaciones más débiles con las variables de tráfico, mientras que las medidas derivadas de los modelos teóricos tienen más dispersión y menor correlación con las variables de tráfico que el porcentaje de vehículos en cola.
- El porcentaje de vehículos en cola tiene una forma exponencial, como en el HCM 2010, y se ve afectado significativamente por el volumen direccional.
- La densidad de vehículos en cola tiene la mayor correlación con las variables de tráfico y depende tanto de la intensidad direccional en el sentido de análisis como en el sentido opuesto y del porcentaje de vehículos pesados.
- El volumen en sentido opuesto no tiene influencia significativa en los resultados y no se incluye en los modelos. Los flujos de tráfico observados, mayoritariamente compensados, pueden hacer que el reparto no sea significativo. La influencia de esta variable es necesario estudiarla mediante microsimulación.

Sobre las **zonas de adelantamiento individuales**:

- El aumento de la efectividad de la zona de adelantamiento no es proporcional a su longitud. Al aumentar la zona de 250 m a 1000 m, incrementa en 3.48 veces el número de adelantamientos, mientras que si el incremento es a 5000 m, se multiplica por 14.8.
- El número de adelantamientos depende del volumen direccional y la interacción entre el volumen direccional y el volumen opuesto. El máximo número de adelantamientos se produce en

una intensidad direccional óptima entre 400 y 450 veh/h. Los resultados son comparables con los obtenidos por Romana (1999) en carreteras de la Comunidad de Madrid.

- El ratio de adelantamientos disminuye al aumentar la intensidad direccional. El aumento del número de adelantamientos es inferior al aumento del número de vehículos en cola.
- Existe una tendencia de mejora de las medidas de desempeño al aumentar la longitud de la zona de adelantamiento, si bien no son estadísticamente significativas. En consecuencia, es necesario ampliar el análisis de zonas individuales de adelantamiento a segmentos de carretera convencional para determinar adecuadamente su influencia.

#### Sobre el **análisis de la funcionalidad en segmentos de carretera:**

- El reparto tiene un efecto muy significativo en la funcionalidad del tráfico, por lo que el análisis deberá ser direccional.
- El porcentaje de zona de adelantamiento no permitido no es suficiente para explicar el efecto de las zonas de adelantamiento en la velocidad media y el porcentaje de tiempo en cola. Las diferencias entre la configuración base y las restantes se minimizan en los escenarios de tráfico donde la restricción al adelantamiento proviene del tráfico y no de la geometría, como repartos poco favorables (inferiores a 30/70) o volumen direccional elevado (superior a 800 veh/h, con reparto 50/50). Esta relación se produce en todos los ajustes realizados.
- La velocidad media depende del volumen direccional, volumen opuesto y porcentaje de vehículos pesados. Al aumentar el porcentaje de vehículos pesados se reduce la velocidad media, si bien su influencia es menor a la del volumen direccional y el reparto. La velocidad media decrece linealmente con el volumen direccional, como en el HCM 2010. El HCM 2010 produce estimaciones generalmente inferiores a los valores de la simulación, mientras que el modelo argentino Maldonado et al. (2012) se ajusta bien únicamente en repartos muy favorables. El estudio de campo de Romana y Núñez (2011) predice buenos resultados en repartos muy favorables, superiores a 60/40, en una de sus carreteras de la Comunidad de Madrid.
- La desviación típica de la velocidad media es aproximadamente constante e igual a 2.5 km/h. La mayor dispersión de la variable, en comparación con su menor rango de variación, produce que los ajustes tengan menor correlación que los ajustes del porcentaje de tiempo en cola. Igualmente, los coeficientes del ajuste son menores que los del porcentaje de tiempo en cola.
- El porcentaje de tiempo en cola aumenta con el volumen direccional con la misma forma funcional que el HCM 2010. Igualmente, el reparto influye bastante en los resultados, aumentando el tiempo en cola del 25 % al 62 % para un volumen direccional de 250 veh/h. Los modelos de Brasil (Bessa y Setti, 2011) y Argentina (Maldonado et al., 2012) producen buenas estimaciones, si bien el primero infraestima la variable en repartos poco favorables y en volumen bajo de repartos más favorables. El segundo sobreestima la variable en volúmenes bajos, con diferencias de hasta el 25 %. El modelo americano (Transportation Research Board, 2010) infraestima el porcentaje de tiempo en cola en prácticamente todos los escenarios. Los modelos de campo, lineales, no se ajustan a la forma funcional de la variable y producen estimaciones muy distintas. No obstante, las estimaciones de los modelos en España son similares a las estimaciones de los modelos previos desarrollados en Estados Unidos dentro de su rango principal de observación, lo que verifica que el comportamiento de los conductores españoles es comparable con los conductores estadounidenses.
- Las variaciones en la velocidad media y porcentaje de tiempo en cola, en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido son máximas para un volumen direccional entre 300 y 500 veh/h, en función del reparto y de la medida de desempeño. Este máximo se produce en los escenarios de tráfico que maximizan el número de adelantamientos. La reducción de velocidad media es una función cúbica del volumen direccional, en la que también influyen el volumen opuesto, el porcentaje de vehículos pesados y el porcentaje de zona de adelantamiento no permitido. Por su parte, el aumento de porcentaje de tiempo en cola es una función inversa del volumen direccional y no depende del porcentaje de vehículos pesados.

- 
- La funcionalidad del tráfico disminuye al reducirse la longitud media de las zonas de adelantamiento dado un porcentaje de zona de adelantamiento no permitido, aunque la reducción no es lineal. Las zonas de adelantamiento más cortas (250 m) prácticamente producen los mismos resultados que la configuración sin adelantamiento permitido y configuraciones con longitud media inferior a 1000 m penalizan la funcionalidad en comparación con zonas más largas. Por su parte la configuración con dos zonas de 2500 m produce mejores resultados que la configuración con una zona de 5000 m en tráficos direccionales entre 400 y 600 veh/h. En consecuencia, se pueden establecer 4 grupos de comportamiento similar: zonas muy cortas (250 m); zonas cortas (500, 714 y 1000 m), zonas medias (1250, 1670 m) y muy largas (2500 y 5000 m).
  - La configuración simétrica es más funcional que las configuraciones asimétricas, aún en un análisis direccional puro, a pesar de que algunas tienen a priori mejor distribución direccional y producen más adelantamientos. Si se consideran ambos sentidos compensados, la funcionalidad es netamente superior en las configuraciones simétricas. Las configuraciones asimétricas donde las zonas de adelantamiento se encuentran al final del segmento producen mejores resultados que otras configuraciones asimétricas, si bien son peores que la configuración simétrica. En los casos más desfavorables, sería posible asimilar el comportamiento a una reducción en la longitud media de las zonas de adelantamiento de 2500 a 714 m.
  - Se pueden establecer criterios cualitativos para la mejora de la funcionalidad. En la medida de lo posible, se establecerán configuraciones lo más uniformemente repartidas a lo largo del segmento, con longitudes entre 1000 y 2500 m y preferiblemente superiores a 1670 m, ya que produce mejores resultados en las medidas de desempeño y menor número de adelantamientos. En consecuencia, se mejora la funcionalidad y la seguridad vial, al reducir el número de posibles conflictos por maniobras de adelantamiento.

#### Sobre el **número de adelantamientos en segmentos de carretera:**

- Existe un volumen direccional que maximiza el número de adelantamientos, dada una configuración de zona de adelantamiento. Dicho volumen óptimo depende del reparto, correspondiendo con 300 veh/h para un reparto 40/60 y 800 veh/h para un reparto 70/30. La localización del óptimo no depende de la longitud individual de las zonas de adelantamiento. El número de adelantamientos se maximiza para intensidad direccional entre 400 y 500 veh/h para flujos compensados y para ese rango de intensidad, se maximiza la reducción en el porcentaje de tiempo en cola y en la densidad de vehículos en cola. Además, las zonas de adelantamiento dejan de ser efectivas con intensidad direccional superior a 800 veh/h, para flujos compensados. Dado un reparto, este valor es independiente a la distribución de las zonas de adelantamiento y al porcentaje de zona de adelantamiento no permitido.
- El modelo teórico de Wardrop (1952), ajustado con el ratio de adelantamientos de Normann (1942) produce un ajuste bastante aproximado del número de adelantamientos en repartos favorables, si bien sobreestima el número de adelantamientos en repartos poco favorables.
- La longitud media de las zonas de adelantamiento puede aumentar o reducir el número de adelantamientos, si bien no varía su forma funcional: es un multiplicador del número de adelantamientos estimado con el modelo seleccionado en la caracterización individual. La influencia de la longitud media de las zonas de adelantamiento no es lineal. Una configuración con longitud media de zonas de adelantamiento de 2500 m produce el 43 % de los adelantamientos que una configuración con el 100 % de zona de adelantamiento permitido. La reducción es al 11 % si la longitud media es de 250 m.
- El número de adelantamientos varía considerablemente en función de la asimetría en la distribución de las zonas de adelantamiento. La afección no es constante y no se aprecia una tendencia clara de cómo afecta al número de adelantamientos, desde una configuración base. El número de adelantamientos aumenta si las zonas de adelantamiento se encuentran en el final del segmento. En comparación con una zona de adelantamiento centrada, el aumento puede ser de hasta el 50 % si se localiza la zona de adelantamiento al final del segmento o una reducción a la mitad si es al principio del segmento.

Sobre la **adecuación del HCM 2010 a las condiciones de las carreteras convencionales en España:**

- El HCM 2010 produce estimaciones de velocidad media generalmente inferiores a los valores de la simulación, si bien se encuentran dentro en la rama inferior simulada. El modelo lineal es el que mejor se ajusta a los datos, aunque se debe incluir el efecto del porcentaje de vehículos pesados.
- El HCM 2010 infraestima el porcentaje de vehículos en cola en prácticamente todos los escenarios, aunque las mayores diferencias se presentan en flujos poco favorables. En flujos más favorables, a partir de 50/50, sobreestiman el porcentaje de vehículos en cola en flujos direccionales inferiores a 250 veh/h. Esto puede indicar que la extrapolación del HCM 2010 para intensidades bajas no es muy precisa.
- No se recomienda el uso del HCM 2010 en las carreteras españolas, puesto que no se ajusta a las condiciones locales. Además, obvia el efecto de la longitud media de las zonas de adelantamiento en la funcionalidad del tráfico.
- Se puede asumir un intervalo de 3 segundos como criterio para determinar los vehículos en cola, si bien no es completamente asimilable al porcentaje de tiempo en cola. El intervalo deberá recalibrarse y se encuentra entre 3 y 4 segundos.

Estos resultados proporcionan herramientas para el análisis de la operación del tráfico en las condiciones españolas, y constituyen el punto de partida para el desarrollo de una metodología propia para la evaluación de la operación de tráfico en las carreteras convencionales españolas.

Las conclusiones de esta Tesis Doctoral están limitadas al alcance de la misma, identificado en el Capítulo 6. Por tanto, son aplicables en carreteras de la Comunidad Valenciana, con velocidad límite de 100 km/h, sinuosidad baja y en terreno llano. El análisis en condiciones meteorológicas adversas o con pavimento deteriorado no se han incluido en la Tesis Doctoral.

Además, existen limitaciones propias del desarrollo de la Tesis Doctoral. Por un lado, las propias derivadas de los escenarios simulados. En primer lugar, se han generado escenarios con porcentaje de zona de adelantamiento no permitido del 0; 50 y 100 %, y se han extrapolado los resultados para valores intermedios. Sería conveniente simular escenarios variando el porcentaje de zona de adelantamiento no permitido para poder verificar la adecuación de los modelos. Además, configuraciones asimétricas considerando zonas de adelantamiento de menor longitud y distintas distribuciones deberán ser estudiadas en detalle con microsimulación.

Por otro lado, se ha analizado la funcionalidad del tráfico con el porcentaje de tiempo en cola y la velocidad media, sin comparar con otras medidas alternativas como el porcentaje de vehículos en cola y la densidad de vehículos en cola debido a las limitaciones de TWOPAS en el reporte del intervalo. Es necesario un estudio en detalle del criterio para establecer qué vehículos están circulando en cola y en flujo libre y así evaluar el porcentaje de vehículos en cola como medida indirecta del porcentaje de tiempo en cola y obtener la densidad de vehículos en cola como posible medida de desempeño del tráfico.

# Capítulo 14

## Aplicaciones

Del desarrollo de la Tesis Doctoral, se pueden establecer algunas aplicaciones prácticas y metodológicas. En la Sección 14.1 se exponen los criterios de diseño de zonas de adelantamiento. En la Sección 14.2 se propone la metodología de evaluación de la funcionalidad de carreteras convencionales. En la Sección 14.3 se introduce la modelización del número de adelantamientos para la estimación de la seguridad vial y el rediseño de carreteras convencionales. Finalmente, en la Sección 14.4 se incluye el modelo de microsimulación calibrado a las condiciones españolas.

### 14.1 Criterios de diseño de zonas de adelantamiento

A partir del análisis funcional de segmentos de carretera, se pueden establecer criterios de diseño de zonas de adelantamiento a adoptar en la futura edición de la Instrucción de Trazado de carreteras. Estos criterios buscan mejorar la funcionalidad de la vía y se basan en las siguientes conclusiones:

- La contribución operacional de las zonas de adelantamiento se produce únicamente donde el adelantamiento está permitido por la señalización horizontal y vertical. Por tanto, las zonas con visibilidad de adelantamiento suficiente que no estén incluidas en zonas de adelantamiento no deberían computarse durante la fase de diseño.
- El aumento de la proporción de zona de adelantamiento permitido mejora la funcionalidad de la vía.
- A igualdad de porcentaje de adelantamiento no permitido, el aumento de la longitud media de las zonas de adelantamiento produce mayor número de adelantamientos. No obstante, el impacto sobre la funcionalidad se estabiliza a partir de longitudes de 2500 m.
- La efectividad de las zonas de adelantamiento se ve penalizada en exceso si la longitud es inferior a 1000 m.
- Las zonas de adelantamiento de 250 m no producen una mejora en la funcionalidad del tráfico respecto a un escenario con total prohibición de adelantamiento.
- Las configuraciones simétricas, con un reparto uniforme de las zonas a lo largo de su longitud, producen un mejor valor en las medidas de desempeño.

Se proponen tres cambios a la actual Instrucción de Trazado de carreteras:

1. Unificación del criterio de visibilidad de adelantamiento.
2. Modificación de la condición deseable de proporción de carretera con visibilidad de adelantamiento.

3. Sustitución de la metodología de evaluación de la funcionalidad del Manual de Capacidad por la metodología adaptada a carreteras españolas.

En primer lugar, se debe unificar el criterio de visibilidad de adelantamiento en la normativa de diseño geométrico y de señalización horizontal, de forma análoga a los manuales de Estados Unidos. Únicamente de esta manera sería adecuado y realista el análisis operacional en la fase de diseño, ya que la contribución operacional de las zonas de adelantamiento se realiza únicamente donde está permitido. Por tanto, se propone sustituir las distancias de adelantamiento de la *Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado*:

Velocidad de proyecto $V_p$ (km/h)	40	50	60	70	80	90	100
Distancia de adelantamiento $D_a$ (m)	200	300	400	450	500	550	600

**Tabla 14.1:** Distancias de visibilidad de adelantamiento en la *Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado*

por las distancias de adelantamiento de la *Instrucción de Carreteras 8.2 IC: Señalización horizontal*:

Velocidad máxima permitida (km/h)	40	50	60	70	80	90	100
Distancia de visibilidad necesaria, $DVN_1$ (m)*	50	750	100	130	165	205	250
Distancia de visibilidad necesaria, $DVN_2$ (m)**	145	180	225	265	310	355	395
Distancia mínima deseable entre marcas continuas, DM (m)***	160	200	245	290	340	385	

\* No inicio de marca continua en cualquier vía o finalización de marca continua en vías existentes

\*\* Finalización de marca continua en vías de nuevo trazado

\*\*\* En vías de nuevo trazado

**Tabla 14.2:** Distancias de visibilidad para zonas de adelantamiento en la *Instrucción de Carreteras 8.2 IC: Señalización horizontal* y en la nueva *Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado*

Igualmente, el cálculo de la visibilidad de adelantamiento de la *Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado* debe sustituirse por el descrito en la *Instrucción de Carreteras 8.2 IC: Señalización horizontal*. Se propone modificar el párrafo del apartado 3.2.1 'Visibilidad de adelantamiento' de la *Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado*:

*A efectos de aplicación de la presente Norma, para el cálculo de la visibilidad de adelantamiento, se considerará que el punto de vista del conductor al igual que el del vehículo contrario se sitúa a un metro con diez centímetros (1,10 m) sobre la calzada.*

por el siguiente párrafo:

*A efectos de aplicación de la presente Norma, para el cálculo de la visibilidad de adelantamiento, se considerará que el punto de vista del conductor se sitúa a un metro con veinte centímetros (1,20 m) sobre la calzada. La altura del objeto opuesto será de un metro con veinte centímetros (1,20 m) sobre la calzada.*

En segundo lugar, al modificar el criterio de visibilidad de adelantamiento de la *Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado*, queda obsoleta la recomendación de proporción deseable con visibilidad de adelantamiento. En este sentido, se debe considerar la longitud de las zonas de adelantamiento. Además, la longitud de las zonas de adelantamiento individuales también tiene efecto en la operación del tráfico, y por tanto se pueden introducir criterios para una mejora operacional. Así, se propone sustituir el párrafo del apartado 3.2.4 'Visibilidad de adelantamiento' de la *Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado*:

*Se procurará obtener la máxima longitud posible en que la visibilidad de adelantamiento sea superior a la distancia de adelantamiento en carreteras de dos sentidos en una calzada. Donde se obtenga, se dice que existe visibilidad de adelantamiento y su proporción deseable será del cuarenta por ciento (40%) por cada sentido de circulación y lo más uniformemente repartido posible.*

por el siguiente párrafo:

*La proporción deseable de carretera con longitud de adelantamiento permitido será del 50% por cada sentido de circulación y las zonas de adelantamiento estarán lo más uniformemente repartidas posible. Además, se procurará que la longitud individual de cada una de las zonas se encuentre entre 1000 y 2500 m.*

Finalmente, a pesar de que la forma funcional del HCM 2010 es la más adecuada para las condiciones españolas, es necesaria una calibración local e incluir ajustes en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento. En este sentido, se propone el cambio en la nota de la Tabla 7.1:

*El nivel de servicio se definirá de acuerdo con el Manual de Capacidad.*

por la siguiente nota:

*El nivel de servicio se definirá de acuerdo con el Manual de Capacidad, empleando la metodología de evaluación calibrada a las condiciones locales españolas.*

Para ello, se propone incluir un apéndice en la futura edición de la *Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado* con la metodología de evaluación de la funcionalidad de carreteras convencionales detallada en la Sección 14.2.

## **14.2 Metodología de evaluación de la funcionalidad de carreteras convencionales**

El modelo global desarrollado en el Capítulo 11 se puede aplicar para la evaluación de la funcionalidad de carreteras convencionales de dos sentidos en una calzada. Así, la metodología específica de evaluación direccional que propone el HCM 2010 se puede sustituir por el diagrama de flujo de la Figura 14.1.

En la metodología se parte de una configuración base sin restricción al adelantamiento y posteriormente se van aplicando ajustes para las restricciones al adelantamiento.

En primer lugar, se determina la clase de carretera. Se consideran las tres clases de carretera del HCM 2010:

- Carreteras de clase I: carreteras interurbanas en las que los conductores esperan viajar a velocidades elevadas. En ellas prima la movilidad.
- Carreteras de clase II: carreteras interurbanas en las cuales los conductores no necesariamente esperan viajar con velocidades elevadas, y estas sirven de acceso a las vías de clase I, o son rutas escénicas o discurren por un terreno más accidentado que limita la velocidad.
- Carreteras de clase III: carreteras interurbanas que discurren por zonas moderadamente urbanizadas, con alta densidad de accesos, o forman parte de las travesías urbanas, por lo que los conductores se satisfacen si circulan con una velocidad cercana a la velocidad límite establecida.

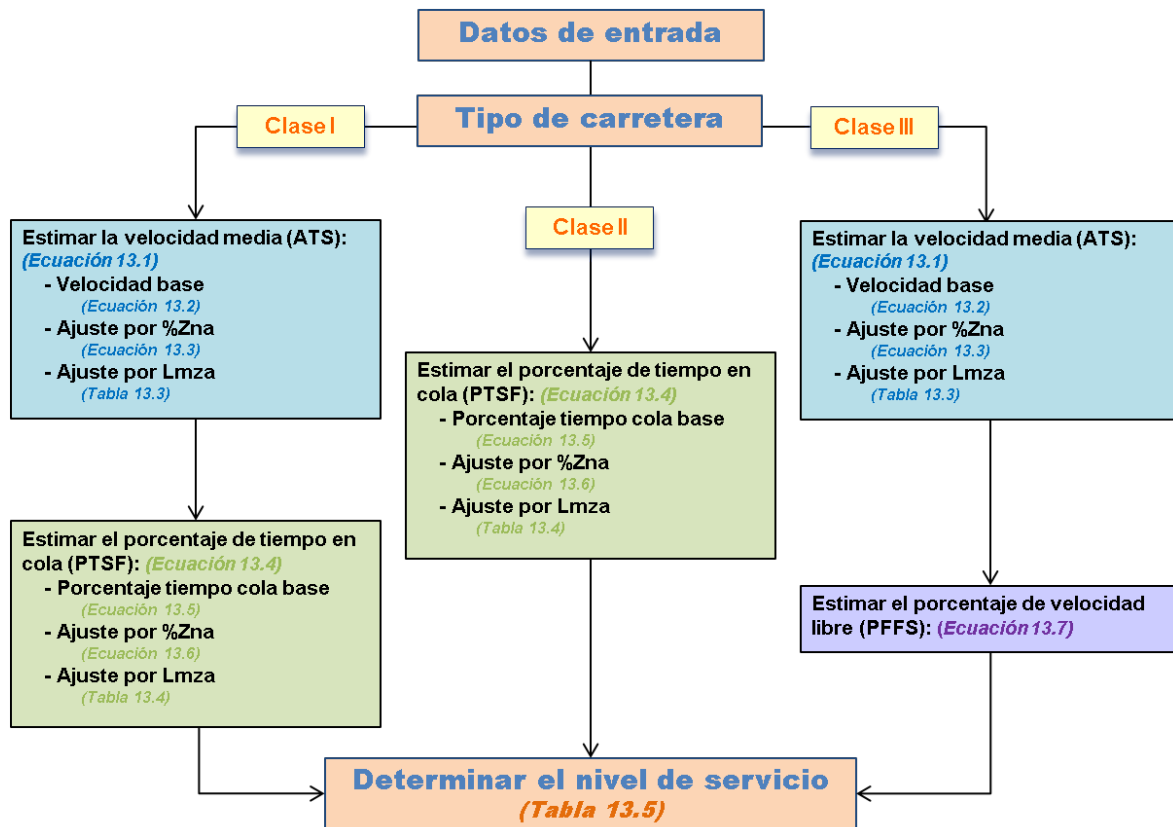


Figura 14.1: Metodología de evaluación de la funcionalidad de carreteras convencionales

Las medidas de desempeño que determinan el nivel de servicio dependen de la clase de carretera. Las medidas de desempeño son tres y se definen como:

- Velocidad media de recorrido: longitud del segmento de carretera convencional dividida entre el tiempo medio de recorrido. La medida refleja la movilidad de la vía.
- Porcentaje de tiempo en cola: porcentaje medio del tiempo que los vehículos deben viajar en cola detrás de vehículos más lentos por la imposibilidad de adelantarlos. Esta medida representa la libertad de maniobra y la comodidad del viaje.
- Porcentaje de velocidad libre: cociente entre la velocidad media y la velocidad en flujo libre. Esta medida representa la habilidad de los vehículos de circular con una velocidad similar a la límite permitida.

En carreteras de clase I, será necesario la estimación de la velocidad media y el porcentaje de tiempo en cola, ya que se prima la movilidad. En las carreteras de clase II sólo se utiliza el porcentaje de tiempo en cola. Finalmente, en las carreteras de clase III se calcula el porcentaje de velocidad libre en base a la velocidad media y la velocidad en flujo libre.

La velocidad media se calcula con la Ecuación 14.1.

$$ATS = ATS_{base} + Fats_{npz} + Fats_{lmza} \quad (14.1)$$

Donde:

- $ATS$ : velocidad media (km/h).
- $ATS_{base}$ : velocidad media en la configuración base (km/h).



- $Fats_{npz}$ : factor de ajuste de la velocidad media en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (km/h).
- $Fats_{lmza}$ : factor de ajuste de la velocidad media en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento, Tabla 14.3 (km/h).

La velocidad media base se determina con la Ecuación 14.2.

$$ATS_{base} = 89,52 - 1,504 \times 10^{-2} V_d - 6,44 \times 10^{-3} V_o - 5,22 \times 10^{-2} HV_d \quad (14.2)$$

- $ATS_{base}$ : velocidad media en la configuración base (km/h).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $HV_d$ : porcentaje de vehículos pesados en la dirección de análisis (%).

Y posteriormente se aplican los ajustes según el porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (Ecuación 14.3) y longitud media de las zonas de adelantamiento (Tabla 14.3).

$$Fats_{npz} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ -2,06 - 0,0166 V_d + 0,027 V_o - 0,064 P_{npz} + 0,027 HV_d + \\ + 2,92 \times 10^{-5} V_d^2 - 1,45 \times 10^{-8} V_d^3 + 5,43 \times 10^{-5} P_{npz} V_o \end{array} \right. \quad (14.3)$$

- $Fats_{npz}$ : factor de ajuste de la velocidad media en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (%).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $HV_d$ : porcentaje de vehículos pesados en la dirección de análisis (%).
- $P_{npz}$ : porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (%).

En las carreteras de clase I y II, el porcentaje de tiempo en cola se calcula con la Ecuación 14.4.

$$PTSF = PTSF_{base} + Fptsf_{npz} + Fptsf_{lmza} \quad (14.4)$$

Donde:

- $PTSF$ : porcentaje de tiempo en cola (%).
- $PTSF_{base}$ : porcentaje de tiempo en cola en la configuración base (%).
- $Fptsf_{npz}$ : factor de ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (%).
- $Fats_{lmza}$ : factor de ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento, Tabla 14.3 (%).

El porcentaje de tiempo en cola base se obtiene aplicando la Ecuación 14.5.

$$PTSF_{base} = 100 (1 - e^{a V_d^b}) \quad (14.5)$$

$$a = -2,12 \times 10^{-3} - 3,48 \times 10^{-5} V_o + 6,15 \times 10^{-4} \ln(V_o) \quad (14.6)$$

$$b = 1,33 - 2,23 \times 10^{-5} V_o - 1,00 \times 10^{-1} \ln(V_o) \quad (14.7)$$

Reparto	Tráfico Vd (veh/h)	Longitud media de las zonas de adelantamiento (m)						
		250	500	714	1000	1250	1670	2500
20/80	<200	-2.05	-0.53	-1.60	-0.45	-0.27	-0.28	0.02
	400	-1.04	0.85	-1.10	0.86	0.78	0.73	0.84
	>600	-1.80	-1.18	-0.39	-0.45	-0.27	-0.61	0.00
30/70	<200	-3.27	-1.38	-2.30	-0.78	-0.54	-0.49	-0.23
	400	-2.53	-0.38	-2.25	-0.31	-0.22	-0.28	-0.17
	600	-1.28	0.81	-1.34	0.97	0.83	0.96	0.70
	>800	0.14	2.64	-0.08	2.55	2.69	2.72	2.93
40/60	<200	-3.90	-1.99	-2.60	-0.92	-0.60	-0.32	-0.15
	400	-3.57	-1.23	-3.02	-0.76	-0.89	-0.83	-0.70
	600	-2.82	-0.32	-2.69	-0.37	-0.25	-0.20	-0.11
	800	-1.92	0.85	-1.76	0.71	0.82	0.78	1.00
	1000	-0.81	1.77	-0.53	1.90	1.84	1.88	1.80
	>1200	1.11	2.98	1.36	3.21	3.55	2.97	3.15
50/50	<200	-4.69	-2.24	-2.54	-0.76	-0.32	0.07	0.10
	400	-4.39	-1.81	-3.26	-1.07	-0.84	-0.77	-0.61
	600	-3.86	-1.09	-3.47	-0.93	-0.81	-0.64	-0.50
	800	-3.51	-0.77	-3.14	-0.36	-0.34	-0.36	-0.18
	1000	-2.24	0.53	-1.85	0.51	0.80	0.73	0.53
	1200	-1.70	0.24	-1.84	0.23	0.19	0.20	0.26
	>1400	0.49	2.64	0.58	2.62	3.18	3.26	1.93
60/40	<200	-5.21	-2.56	-2.96	-0.65	0.08	0.47	0.51
	400	-4.62	-2.03	-3.26	-0.83	-0.73	-0.32	-0.12
	600	-4.39	-1.51	-3.74	-0.87	-0.55	-0.59	-0.33
	800	-4.35	-1.44	-3.67	-0.93	-0.96	-0.63	-0.69
	1000	-3.56	-0.78	-3.26	-0.56	-0.24	-0.40	-0.18
	1200	-2.89	-0.69	-2.54	-0.62	-0.76	-0.54	-0.42
	>1400	1.54	2.08	1.26	2.14	3.23	2.57	2.41
70/30	<200	-5.70	-2.92	-2.84	-0.17	0.41	0.52	0.92
	400	-5.18	-2.27	-3.61	-0.49	-0.29	0.23	0.29
	600	-4.54	-1.58	-3.67	-0.81	-0.36	-0.25	-0.10
	800	-4.94	-1.80	-3.93	-1.05	-0.57	-0.56	-0.20
	1000	-4.46	-1.21	-3.63	-0.82	-0.74	-0.50	-0.61
	1200	-3.59	-1.54	-3.32	-1.19	-1.12	-0.98	-0.80
	>1400	0.37	1.86	-0.24	0.72	1.03	2.30	1.47
80/20	<200	-6.46	-3.16	-3.07	0.04	0.74	1.40	1.26
	400	-5.48	-2.44	-3.11	0.10	0.55	0.90	1.52
	600	-4.91	-2.07	-3.39	-0.28	-0.01	0.56	0.85
	800	-5.36	-2.03	-3.85	-0.67	-0.08	-0.15	0.04
	1000	-4.89	-1.74	-3.52	-0.61	-0.49	-0.38	-0.04
	1200	-4.06	-2.27	-3.53	-1.27	-1.25	-0.86	-0.80
	>1400	-0.89	0.72	0.62	2.20	2.35	3.09	2.49

**Tabla 14.3:** Ajuste de la velocidad media en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento ( $F_{ats_{imza}}$ )

Donde:

- $PTSF_{base}$ : porcentaje de tiempo en cola en la configuración base (%).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).

Y finalmente se ajusta según las diferencias con la configuración base, en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (Ecuación 14.8) y la longitud media de las zonas de adelantamiento (Tabla 14.4).

$$F_{pts}f_{npz} = \frac{-26,86 + 0,122 V_d + 0,573 P_{npz} - 0,025 V_o}{1 + e^{0,0025 V_d - 0,0106 P_{npz} + 0,0037 V_o}} \quad (14.8)$$

Reparto	Tráfico	Longitud media de las zonas de adelantamiento (m)						
	Vd (veh/h)	250	500	714	1000	1250	1670	2500
20/80	<200	5.37	2.22	3.91	1.69	1.41	0.90	0.21
	400	-0.36	-2.28	-0.14	-2.22	-1.97	-2.23	-2.11
	>600	-5.10	2.77	1.71	1.69	1.41	-0.01	-2.09
30/70	<200	10.83	6.75	6.98	3.71	2.70	1.96	1.42
	400	2.65	0.43	2.04	0.05	-0.11	-0.02	-0.27
	600	0.40	-0.78	0.50	-1.05	-0.90	-0.95	-0.65
	>800	-0.73	-2.22	-0.74	-1.99	-2.56	-2.18	-2.54
40/60	<200	14.65	10.46	9.08	5.03	3.75	2.26	1.83
	400	6.06	3.41	4.11	1.40	1.59	1.27	0.73
	600	2.20	0.39	1.47	-0.02	-0.14	-0.44	-0.57
	800	1.24	-0.09	0.97	0.08	-0.19	-0.11	-0.34
	1000	0.86	0.34	0.68	0.24	0.21	0.15	0.18
	>1200	-0.29	-0.65	-0.23	-0.36	-0.63	-0.24	-0.23
50/50	<200	18.14	12.97	10.02	6.12	3.91	2.29	1.39
	400	9.29	6.67	5.69	2.49	1.77	1.37	0.54
	600	4.44	1.86	2.60	0.89	0.23	-0.12	-0.58
	800	2.43	0.97	1.49	0.14	0.08	-0.18	-0.56
	1000	1.49	0.72	1.21	0.43	0.24	0.36	0.33
	1200	1.49	1.34	1.47	1.31	1.22	1.25	1.28
	>1400	2.45	2.66	2.31	2.33	2.25	2.59	2.81
60/40	<200	21.54	16.07	12.15	6.26	3.59	1.69	1.29
	400	12.02	9.22	7.42	3.77	2.83	1.02	0.13
	600	6.70	4.19	4.03	1.12	0.26	-0.31	-1.35
	800	4.20	2.35	2.26	0.68	0.26	-0.46	-0.64
	1000	2.73	1.69	1.96	1.11	0.48	0.44	0.17
	1200	2.15	1.85	1.81	1.59	1.54	1.36	1.31
	>1400	2.42	2.48	2.70	2.61	2.28	2.49	2.43
70/30	<200	24.14	18.82	12.95	5.76	2.88	1.13	0.29
	400	16.23	12.56	10.24	4.49	2.77	0.84	0.49
	600	9.15	6.24	5.47	1.96	0.69	-0.61	-1.14
	800	6.33	4.20	3.72	1.28	0.34	-0.47	-1.11
	1000	4.66	3.46	2.93	1.60	1.07	0.62	0.46
	1200	3.38	2.92	2.74	2.25	2.06	1.83	1.55
	>1400	3.42	3.64	3.56	3.24	3.22	2.60	3.07
80/20	<200	26.89	21.55	14.22	5.52	1.84	-0.19	-0.32
	400	21.14	17.41	12.67	6.26	3.43	2.07	0.34
	600	13.93	10.89	8.35	3.89	1.76	0.05	-0.96
	800	9.93	7.83	5.92	2.86	0.93	0.20	-0.55
	1000	7.52	6.22	4.87	3.04	2.22	1.11	0.73
	1200	5.54	5.13	4.47	3.64	3.25	2.67	2.26
	>1400	6.30	5.56	4.93	3.99	3.03	2.95	2.36

**Tabla 14.4:** Ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función de la longitud media de las zonas de adelantamiento ( $F_{pts}f_{lmza}$ )

Donde:

- $F_{ptsf_{npz}}$ : factor de ajuste del porcentaje de tiempo en cola en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (%).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $P_{npz}$ : porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (%).

Finalmente, en las carreteras de clase III se calcula el porcentaje de velocidad libre según la Ecuación 14.9.

$$PFFS = \frac{ATS}{FFS} 100 \quad (14.9)$$

Donde:

- $PFFS$ : porcentaje de velocidad libre (%).
- $ATS$ : velocidad media (km/h).
- $FFS$ : velocidad en flujo libre (km/h).

En esta metodología, la velocidad en flujo libre se define como la velocidad media de los vehículos que circulan sin restricciones debidas a la interferencia de otros vehículos, únicamente por los condicionantes geométricos, meteorológicos y de accesos. La velocidad en flujo libre se determina a partir de la distribución de velocidad de los vehículos que circulan con un intervalo superior a 3 segundos. Si no fuera posible tomar datos, a modo indicativo, se puede tomar la velocidad límite. Si existen varios límites de velocidad se tomará la media armónica.

Tras la determinación de las medidas de desempeño, se compara su valor con los límites de la Tabla 14.5. A falta de un estudio propio, se consideran los mismos umbrales que en el HCM 2010.

Nivel de servicio direccional	Clase I		Clase II	Clase III
	ATS (km/h)	PTSF (%)	PTSF (%)	PFFS (%)
A	>55	≤ 35	≤ 40	>91.7
B	50-55	35-50	40-55	83.3-91.7
C	45-50	50-65	55-70	75.0-83.3
D	40-45	65-80	70-85	66.7-75.0
E	≤ 40	>80	>85	≤ 66.7

**Tabla 14.5:** Criterios para la determinación del nivel de servicio del *Highway Capacity Manual*

El análisis es direccional, luego se deberá realizar la estimación para cada sentido de circulación.

La metodología es aplicable en carreteras con las siguientes características:

- Anchura de carril igual o superior a 3.5 m.
- Anchura de arcén igual o superior a 1 m.
- Velocidad de diseño de 100 km/h.
- Carreteras de baja sinuosidad.
- Terreno llano.
- Sin restricciones al tráfico (por ejemplo: intersecciones semaforizadas, vehículos girando).

En caso de que las condiciones de la vía difieran de las anteriores, o que la asimetría en la distribución de las zonas de adelantamiento sea muy marcada, se deberán hacer análisis específicos mediante microsimulación de tráfico para determinar la funcionalidad del tráfico.

### 14.3 Modelización del número de adelantamientos para la estimación de la seguridad vial

La maniobra de adelantamiento se realiza en las carreteras convencionales para disminuir la demora producida por los vehículos lentos, mejorando la funcionalidad del tráfico. No obstante, la maniobra se produce invadiendo el carril destinado al sentido opuesto de la circulación. Por ello, conlleva un riesgo. Existen estudios que analizan la seguridad vial de la maniobra, si bien no suelen incorporar la frecuencia de adelantamientos asociada a las zonas de adelantamiento.

En el Capítulo 9 se modelizó el número de adelantamientos en función de la longitud de la zona de adelantamiento y el nivel de tráfico. El modelo recogido en la Ecuación 14.10 es aplicable en zonas aisladas de adelantamiento.

$$Ad = L_{za}^{0,8995} e^{-4,444+7,065 \times 10^{-3} V_d - 8,207 \times 10^{-6} V_d V_o} \quad (14.10)$$

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos (ad/h).
- $L_{za}$ : longitud de la zona de adelantamiento (m).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).

Los modelos se pueden emplear para estimar la exposición al riesgo de la maniobra de adelantamiento y así ponderar la peligrosidad global de una zona de adelantamiento. La estimación del número de adelantamientos sustituiría a la habitual medida de exposición, la intensidad media diaria (IMD), lo cual mejoraría la estimación del riesgo asociado a la maniobra en una zona de adelantamiento, puesto que el número de adelantamientos no es proporcional a la IMD.

Un análisis análogo se puede realizar en segmentos de carretera convencional a partir del modelo global de estimación desarrollado en el Capítulo 11. Este modelo estima el número de adelantamientos en un segmento en función de la longitud media de sus zonas de adelantamiento y sigue la Ecuación 14.11.

$$Ad = 0,4 (Lm_{za}^{0,599} e^{-2,71+5,64 \times 10^{-3} V_d + 7,56 \times 10^{-4} V_o - 3,07 \times 10^{-6} V_d^2 - 3,94 \times 10^{-6} V_o^2 + 5,67 \times 10^{-7} V_d V_o}) \quad (14.11)$$

Donde:

- $Ad$ : número de adelantamientos en el segmento de 1 km (ad/h/km).
- $V_d$ : volumen direccional (veh/h).
- $V_o$ : volumen opuesto (veh/h).
- $Lm_{za}$ : longitud media de las zonas de adelantamiento (m).

## 14.4 Modelo de microsimulación calibrado a las condiciones españolas

Como el modelo de microsimulación TWOPAS ha sido calibrado a las condiciones españolas, las mejores combinaciones de parámetros del modelo detectadas se pueden emplear en otras investigaciones que requieran de microsimulación de tráfico con TWOPAS.

Algunas de estas investigaciones se han identificado entre las futuras líneas de investigación, como:

- Determinación de la longitud mínima de zona de adelantamiento.
- Profundización en el estudio de la funcionalidad del tráfico en configuraciones asimétricas.

Por otro lado, los datos de campo tomados también pueden servir de base para la futura calibración de otros modelos de microsimulación, como CORSIM o Aimsun.

## Capítulo 15

# Futuras líneas de investigación

En la Tesis Doctoral se han desarrollado criterios técnicos para la adecuada inclusión de zonas de adelantamiento y para la evaluación de la funcionalidad de carreteras convencionales. No obstante, existen algunos campos en los que es posible profundizar en el análisis. Se establecen las siguientes futuras líneas de investigación:

- Estudio del criterio de cola. Con la actual salida de datos de TWOPAS no es posible obtener el porcentaje de vehículos en cola asociados a intervalos no enteros, por lo que no se ha podido realizar un análisis completo del porcentaje de vehículos en cola para estimar el porcentaje de tiempo en cola. Por tanto, se ha descartado la modelización del porcentaje de vehículos en cola, por no ser representativo del porcentaje de tiempo en cola, con los dos intervalos disponibles. Se propone un análisis en detalle del criterio para determinar qué vehículos circulan en flujo libre y en cola.
- Caracterización de la densidad de vehículos en cola. La densidad de vehículos en cola es una medida de desempeño derivada del porcentaje de vehículos en cola, velocidad media y volumen de tráfico. En este sentido, sería adecuado el estudio de la densidad de vehículos en cola con el criterio que establezca claramente la condición de seguimiento, para su posible consideración como medida de desempeño.
- Profundización en el estudio de la influencia del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido y asimetría. Propuesta de otras configuraciones con distinto porcentaje de zona de adelantamiento no permitido y recalibración del modelo.
- Estudio de la influencia del tipo de terreno. Se propone la toma de datos experimentales en zonas con terreno ondulado y/o montañoso, con el fin de cuantificar el efecto del tipo de terreno en las medidas de desempeño. Este aspecto puede ser importante en carreteras accidentadas con un porcentaje considerable de vehículos pesados.
- Estudio de la influencia de la velocidad de diseño. La velocidad de diseño de la vía influirá en la velocidad deseada de los conductores, y, por ende, en la velocidad media de recorrido. En este sentido, se podría variar la velocidad deseada de los conductores en el programa de microsimulación y así estimar la velocidad deseada en condiciones distintas a las empleadas.
- Estudio de la influencia de la sinuosidad de la carretera. Al igual que el perfil longitudinal, el trazado en planta puede producir un efecto en las medidas de desempeño. Así, se podrían considerar configuraciones con distinta sinuosidad y evaluar las diferencias en las medidas de desempeño.
- Estudio de la influencia de condiciones meteorológicas adversas y/o pavimento deteriorado. La presencia de lluvia o nieve puede producir una variación en las condiciones de seguimiento entre los vehículos, con un aumento del intervalo, o una reducción de la velocidad media. Igualmente, el estado del pavimento puede variar la calidad de la circulación y afectar a las medidas

de desempeño. Se propone un estudio experimental análogo en condiciones meteorológicas adversas y en carreteras con estado del pavimento deteriorado.

- Propuesta de niveles de servicio en función de las medidas de desempeño. Una vez estimadas las medidas de desempeño, es necesario establecer los criterios para convertir las estimaciones en niveles de servicio a partir de las descripciones cualitativas del HCM 2010. Con el fin de determinar cuando se producen esas variaciones en la calidad del tráfico, se podrían capturar imágenes en distintas vías y condiciones de la circulación y correlacionarlas con la descripción cualitativa del nivel de servicio y los valores de las medidas de desempeño. Entre las metodologías, se pueden incluir paneles de expertos y encuestas a usuarios.
- Evaluación global de la funcionalidad y seguridad vial en carreteras convencionales según el número de adelantamientos. El aumento en la oferta de adelantamientos mejora la funcionalidad de la vía, como se ha estimado en la Tesis Doctoral. Sin embargo, la maniobra de adelantamiento tiene asociado un riesgo. En este sentido, se podría evaluar el balance entre la mejora de seguridad vial al reducir la oferta de adelantamientos y el empeoramiento de la funcionalidad.
- Establecimiento de la longitud mínima de las zonas de adelantamiento a partir de su contribución a la funcionalidad del tráfico y su nivel de seguridad. Una configuración con zonas de adelantamiento de 250 m y 50 % de zona de adelantamiento permitido no presenta diferencias sustanciales en la funcionalidad en comparación con una configuración en carretera semiseparada. Se propone profundizar en el estudio de la longitud mínima de zona de adelantamiento que mejora la funcionalidad. Además, se podría estimar el nivel de seguridad vial asociado a dicha longitud y obtener un criterio que englobe aspectos funcionales y de seguridad.
- Validación de las conclusiones con otro microsimulador de tráfico. Las conclusiones se han obtenido en base al programa calibrado TWOPAS. No obstante, otros simuladores de tráfico, con distintas leyes de seguimiento y adelantamiento, podrían producir distintas conclusiones. Se pueden calibrar y validar otros simuladores de tráfico, como CORSIM o Aimsun, con los datos de campo y reproducir las configuraciones de la Tesis Doctoral. Posteriormente, se compararán los resultados de los diferentes simuladores de tráfico.



# Agradecimientos

En primer lugar, agradecer al Ministerio de Economía y Competitividad, sin cuya subvención al proyecto 'Desarrollo de modelos de distancias de visibilidad de adelantamiento (PASSING)' no hubiera sido posible la presente investigación. Además, al Subprograma de Formación de Personal Investigador del Ministerio de Economía y Competitividad, por la concesión de la ayuda FPI para el desarrollo de la Tesis Doctoral y la financiación de la estancia breve en la University of Florida, Estados Unidos.

En segundo lugar, al programa TEE (Transatlantic Partnership for Excellence in Engineering) de los proyectos Erasmus Mundus-Action 2 subvencionados por la Comisión Europea, por la financiación de la estancia breve en la University of British Columbia, Canadá.

Finalmente, a las administraciones que han colaborado durante la toma de datos del proyecto PASSING: la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana, la Demarcación de Carreteras del Estado en la Comunidad Valenciana, el Servicio de Carreteras de la Diputación de Valencia y la Dirección General de Tráfico del Ministerio de Interior.



# Referencias bibliográficas

- Abdul-mawjoud, A. A. y G. G. Sofia (2014). "Passing Behavior on Rural Two-Lane Highways". En: *Al-Rafidain Engineering* 22.2, págs. 123-134.
- Al-Kaisy, A. y C. Durbin (2008). "Evaluating new methodologies for estimating performance on two-lane highways". En: *Canadian Journal of Civil Engineering* 35.8, págs. 777-785.
- Al-Kaisy, A. y C. Durbin (2011). "Platooning on Two-lane Two-way Highways: An Empirical Investigation". En: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 16, págs. 329-339.
- Al-Kaisy, A. y S. Karjala (2008). "Indicators of Performance on Two-Lane Rural Highways: Empirical Investigation". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2071, págs. 87-97.
- Allen, R. W., D. W. Harwood, J. P. Chrstos y W. D. Glauz (2000). *The Capability and Enhancement of VDANL and TWOPAS for Analyzing Vehicle Performance on Upgrades and Downgrades Within IHSDM*. Inf. téc. 00. Systems Technology, Inc.
- American Association of State Highway and Transportation Official (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition*.
- Antoniou, C. et al. (2014). *Traffic Simulation : Case for guidelines*. Ed. por M. Brackstone y V. Punzo. European Union.
- De Arazoza, R. E. y D. S. Mcleod (1993). "Methodology To Assess Level of Service on US-1 in the Florida Keys". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1398, págs. 1-6.
- Archilla, A. R. y J. Morrall (1996). "Traffic characteristics on two-lane highway downgrades". En: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 30.2, págs. 119-133.
- Van As, S. (2006). *The development of an analysis method for the determination of level of service of two-lane undivided highways in South Africa*. Inf. téc. Pretoria: South African National Roads Agency Limited.
- Van As, S. y A. van Niekerk (2004). "The Operational Analysis of Two-Lane Rural Highways". En: *23rd Southern African Transport Conference*. July, págs. 622-633.
- Barcelo, J. (2010). *Fundamentals of Traffic Simulation*, pág. 442.
- Bessa, J. E. y J. R. Setti (2011). "Derivation of ATS and PTSF Functions for Two-lane, Rural Highways in Brazil". En: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 16, págs. 282-292.

- Bessa, J. E. J. (2009). "Caracterização do Fluxo de Tráfego em Rodovias de Pista Simples do Estado de Sao Paulo". Tesis doct. Universidade de Sao Paulo.
- Botha, J. L., E. C. Sullivan y X. Zeng (1994). "Level of Service of Two-Lane Rural Highways with Low Design Speeds". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1457, págs. 17-25.
- Brilon, W. y F. Weiser (2006). "Two-Lane Rural Highways: The German Experience". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1988, págs. 38-47.
- Camacho-Torregrosa, F. J., A. Perez, J. Campoy-Ungría, A. García y A. Tarko (2014). "Use of Heading Direction for Recreating the Horizontal Alignment of an Existing Road". En: *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* In press.
- Castilla, G. y M. G. Romana (2013). "Statistical characterization of vehicles in 2-lane roads in Spain ." En: *92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Vol. 3067.
- Catbagan, J. L. y H. Nakamura (2006). "Evaluation of Performance Measures for Two-Lane Expressways in Japan". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1988, págs. 111-118.
- Chandra, S. (2004). "Capacity estimation procedure for two-lane roads under mixed traffic conditions". En: *Indian Road Congress*. Vol. i. 498, págs. 139-170.
- Cohen, M. y A. Polus (2011). "Estimating Percent-Time-Spent-Following on Two-Lane Rural Highways". En: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 19.6, págs. 1319-1325.
- Courage, K. G., L. Elefteriadou, S. S. Washburn y D. Nam (2010). *Guidance for the Use of Alternative Traffic Analysis Tools in Highway Capacity Analyses*. NCHRP 03-85 Report.
- Daganzo, C. F. (1975). "Probabilistic structure of two-lane road traffic". En: *Transportation Research* 9.6, págs. 339-346.
- Dey, P. P., S. Chandra y S Gangopadhyay (2008). "Simulation of Mixed Traffic Flow on Two-Lane Roads". En: *Journal of Transportation Engineering* 134.9, págs. 361-369.
- Dixon, M., S. Sai, K. Sarepali y K. A. Young (2002). "Field Evaluation of Highway Capacity Manual 2000 Analysis Procedures for Two-Lane Highways". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1802, págs. 125-132.
- Dommerholt, W. y H. Botma (1988). "Model to Determine Operating Quality on Two-Lane Rural Roads". En: *58th ITE Annual Meeting*, págs. 310-314.
- Egami, C., M. Mon-Ma, J. R. Setti y L. Rilett (2006). "Automatic Calibration of Two-Lane Highway Traffic Simulation Models Using a Genetic Algorithm". En: *Applications of Advanced Technology in Transportation*, págs. 510-515.
- Federal Highway Administration (1996). "Appendix B: Data Sources for the Driver Performance Module - TRARR". En: *Initial Development of a Prototype Driver Performance Model for Highway Design*.
- Federal Highway Administration (2004). *Traffic Analysis Toolbox Volume III : Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*. Vol. III. July.

- Federal Highway Administration (2009). *Manual on Uniform Traffic Control Devices*.
- Fry, J., M. Taylor y J. Woodley (2003). "Microsimulation modelling of traffic flow on two-way two-lane rural roads: Past, present and future". En: *21st Conference of the Australian Road Research Board*, págs. 155-174.
- Gattis, J., M. S. Alguire, K. Townsend y S. Rao (1997). "Rural Two-Lane Passing Headways and Platooning". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1579, págs. 27-34.
- Ghods, A. H. y F. F. Saccomanno (2014). "Microscopic Overtaking Gap Acceptance Model for Two-lane Highways". En: *93rd Transportation Research Board Annual Meeting*. Washington DC (US).
- Ghosh, I., S. Chandra y A. Boora (2013). "Operational Performance Measures for Two-lane Roads: An Assessment of Methodological Alternatives". En: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 104, págs. 440-448.
- Harwood, D. W., A. D. May, I. B. Anderson, L. Leiman y A. R. Archilla (1999). *Capacity and Quality of Service of Two-Lane Highways*. Inf. téc. 104215.
- Harwood, D. W., I. B. Potts, K. M. Bauer, J. A. Bonneson y L. Elefteriadou (2003). *Two-Lane Road Analysis Methodology in the Highway Capacity Manual*. Inf. téc.
- Harwood, D. W., D. K. Gilmore, K. R. Richard, J. Dunn y C. Sun (2008). *NCHRP 605 Passing Sight Distance Criteria*. Inf. téc. Transportation Research Board.
- Harwood, D. W., D. K. Gilmore y K. R. Richard (2010). "Criteria for Passing Sight Distance for Roadway Design and Marking". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2195, págs. 36-46.
- Harwood, D., D. Fambro, B. Fishburn, H. Joubert, R. Lamm y B. Psarianos (1998). "International Sight Distance Design Practices". En: *Transportation Research Circular E-C003: International Symposium on Highway Geometric Design Practices* 32, págs. 1-23.
- Hashim, I. H. y T. A. Abdel-Wahed (2011). "Evaluation of performance measures for rural two-lane roads in Egypt". En: *Alexandria Engineering Journal* 50.3, págs. 245-255.
- Hegeman, G. (2004). "Overtaking Frequency". En: *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, págs. 4017-4022.
- Hegeman, G. (2008). *Assisted Overtaking. An Assessment of Overtaking on Two-lane Rural Roads*. TRAIL Thesis Series.
- Hegeman, G., A. Tapani y S. Hoogendoorn (2009). "Overtaking Assistant Assessment using Traffic Simulation". En: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 17.6, págs. 617-630.
- ITT Corporation, I. S. (2011). "Traffic Analysis Module Engineers Manual". En: *Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM)*. 1. Federal Highway Administration, págs. 1-41.
- Jarillo, J. J. y A. García Martín (2002). "La calidad de servicio en la red de carreteras de la Comunidad de Madrid: Una Encuesta Pionera". En: *Mapping* 76, págs. 53-57.

- Karjala, S. (2008). "Estimating Quality of Traffic Flow on Two-Lane Highways". Tesis doct. Montana State University.
- Kaub, A. R. (1990). "Passing Operations on a Recreational Two-Lane, Two-Way Highway". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1280, págs. 156-162.
- Kim, J. y L. Elefteriadou (2010). "Estimation of Capacity of Two-Lane Two-Way Highways Using Simulation Model". En: *Journal of Transportation Engineering* 136.1, págs. 61-66.
- Koorey, G. (2002). "Assessment of Rural Road Simulation Modelling Tools". En: *IPENZ Transportation Group Technical Conference*. Civil.
- Leiman, L., A. R. Archilla y A. D. May (1998). *TWOPAS Model Improvements*. Inf. téc. 3. Berkeley, CA: University of California Berkeley.
- Li, J. y S. S. Washburn (2011). "Implementing Two-lane Highway Simulation Modeling into CORSIM". En: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 16, págs. 293-305.
- Li, J. y S. S. Washburn (2014). "Improved Operational Performance Assessment for Two-Lane Highway Facilities". En: *Journal of Transportation Engineering*.
- Llorca, C. y A. García (2011). "Evaluation of Passing Process on Two-Lane Rural Highways in Spain with New Methodology Based on Video Data". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2262, págs. 42-51.
- Llorca, C., A. T. Moreno, A. Lenorzer, J. Casas y A. Garcia (2014). "Development of a new microscopic passing maneuver model for two-lane rural roads". En: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*.
- Luttinen, R. T. (2000). "Level of Service on Finnish Two-Lane Highways". En: *Transportation Research Circular E-C018: Fourth International Symposium on Highway Capacity*, págs. 175-187.
- Luttinen, R. T. (2001). *Uncertainty in the Operational Analysis of Two-Lane Highways*. Inf. téc. TL Research Report.
- Luttinen, R. T. (2002). "Uncertainty in Operational Analysis of Two-Lane Highways". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1802, págs. 105-114.
- Luttinen, R. T., M. Dixon y S. S. Washburn (2003). *Two-Lane Highway Analysis in HCM2000*. Inf. téc.
- Maldonado, M. O., M. Herz y J. Galarraga (2012). "Modelación de operación en carreteras argentinas y recomendaciones de ajustes al Manual de Capacidad HCM 2010". En: *Transportes* 20.3, págs. 51-61.
- Mc Lean, J. R. (1989). *Two-lane Highway Traffic Operations: Theory and Practice*, pág. 409.
- McTrans (2011). *CORSIM Users Guide*.
- Ministerio de Fomento (1987). *Instrucción de Carreteras 8.2 IC: Señalización horizontal*.
- Ministerio de Fomento (1999). *Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado*.

- Ministerio de Fomento (2014). *Instrucción de Carreteras 8.1 IC: Señalización vertical*.
- Morrall, J. y A. Werner (1990). "Measuring Level of Service of Two-Lane Highways by Overtakings". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1287, págs. 62-69.
- Morris, J. L. (2005). "Identification of Preferred Performance Measures for the Assessment of Level of Service on Two-Lane Highways". Tesis doct. University of Florida.
- Mwesige, G., H. Farah, U. Bagampadde y H. N. Koutsopoulos (2014a). "A Stochastic Model for Passing Rate at Passing Zones on Two-Lane Rural Highways in Uganda". En: *94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*.
- Mwesige, G., H. Farah, U. Bagampadde y H. N. Koutsopoulos (2014b). "Capacity and Safety of Passing Zones on Two-Lane Rural Highways : A Review of Theory and Practice". En: *Journal of Traffic and Logistics Engineering* 2.2, págs. 156-163.
- Normann, O. (1942). "Results of Highway Capacity Studies". En: *Public Roads* 23.4, págs. 57-81.
- Núñez, M. (2011). "Propuesta de Modelo para Elaborar la Función Intensidad-Velocidad en Tramos Específicos de Carreteras de Dos Carriles en la Comunidad de Madrid". PhD Thesis. Universidad Politécnica de Madrid.
- Oregon Department of Transportation (2010). *Modeling Performance Indicators on Two-Lane Rural Highways : The Oregon Experience*. Inf. téc. December. Oregon Department of Transportation.
- Polus, A. y M. Cohen (2009). "Theoretical and Empirical Relationships for the Quality of Flow and for a New Level of Service on Two-Lane Highways". En: *Journal of Transportation Engineering* 135.6, págs. 380-385.
- Romana, M. G. (1999). "Passing Activity on Two-Lane Highways in Spain". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1678, págs. 90-95.
- Romana, M. G. y M. López (1998). "Estimation of Percentage of Delayed Vehicles Based on Traffic Variables for Rural Highways". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1646, págs. 29-36.
- Romana, M. G. y M. Núñez (2011). "Proposal of an Alternative Model for Speed-Flow Relationship in Two-Lane Highways". En: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 16, págs. 832-839.
- Romana, M. G. e I. Pérez (2006). "Measures of Effectiveness for Level-of-Service Assessment of Two-Lane Roads: An Alternative Proposal Using a Threshold Speed". En: *Transportation Research Record* 1988, págs. 56-62.
- Rozenstein, S., A. Polus y M. Cohen (2012). "Models for Estimating Drivers Following on Two-Lane Rural Highways". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2286, págs. 68-75.
- Shawky, M. e I. H. Hashim (2010). "Impact of Horizontal Alignment on Traffic Performance at Rural Two-Lane Highways". En: *4th International Symposium on Highway Geometric Design*. Vol. 20. 0.
- Tapani, A. (2005). "A Versatile Model for Rural Road Traffic Simulation". En: *Annual Meeting of the Transportation Research Board*.

- Transportation Research Board (1985). *Highway Capacity Manual*.
- Transportation Research Board (2000). *Highway Capacity Manual*.
- Transportation Research Board (2010). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board.
- Troutbeck, R. (1982). "Overtaking Rates on Low Volume Roads". En: *Australian Road Research Board*. Vol. 11. Civil, págs. 167-174.
- Tuovinen, P y A. Enberg (2006). "Effects of Centerline Rumble Strips on Two-Lane Rural Highways in Finland". En: *5th International Symposium on Highway capacity and Quality of Service*.
- Two-Lane Highways Subcommittee, A. (2007). *Research Problem Statement. Effects of Operational Treatments on Two-Lane Highway Traffic Operations*. Inf. téc.
- University of Florida y T-Concepts Corp (2007). *Guidance for the Use of Alternative Traffic Analysis Tools in Highway Capacity Analyses*. Inf. téc.
- Valencia-Alaix, V. y A. García (2010). "Procedures to facilitate passing on conventional highways by means of simulation". En: *4th International Symposium on Highway Geometric Design*. Valencia (ES).
- Wardrop, J. G. (1952). "Some theoretical aspects of road traffic research". En: *Road Division Engineering Meeting*, págs. 362-378.
- Washburn, S. S. (2005). *Improvement of Planning Level Analysis Procedures for Two-Lane Highways*. Inf. téc. October, pág. 377.
- Washburn, S. S., D. S. Mcleod y K. G. Courage (2002). "Adaptation of Highway Capacity Manual 2000 for Planning-Level Analysis of Two-Lane and Multilane Highways in Florida". En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1802, págs. 62-68.
- Washburn, S. S., J. Li y H. Hammontree (2012). *Development of an Analytical Methodology for Two-Lane Highway Facility Analysis*. Inf. téc. November. University of Florida.
- Werner, A. y J. Morrall (1984). "Unified traffic flow theory model for two-lane rural highways". En: *Transportation Forum* 1.3, págs. 79-87.
- Yu, Q. y S. S. Washburn (2009). "Operational Performance Assessment for Two-Lane Highway Facilities". En: *Journal of Transportation Engineering* 135.4, págs. 197-205.



## Anexo A

# Publicaciones relacionadas con la Tesis Doctoral

Durante el desarrollo de la Tesis Doctoral se han divulgado los resultados de algunas de las partes fundamentales de la misma. Concretamente, se han producido los siguientes artículos (5):

Moreno, A.T., C. Llorca, A. García y A.M. Pérez-Zuriaga (2013b). 'Operational Effectiveness of Passing Zones depending on their Length and Traffic Volume'. En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2395, págs. 57-65.

Moreno, A.T., C.Llorca, T. Sayed, A. García. (2014d) 'Field Evaluation of Traffic Performance Measures for Two-Lane Highways in Spain' En: *Transportation Research Circular*.

Moreno, A.T., C.Llorca, J.E.J. Bessa, A. García, D. Hale. (2014a). 'Evaluación de medidas de comportamiento del tráfico considerando las zonas de adelantamiento de carreteras convencionales mediante microsimulación'. En: *Carreteras* 198.

Moreno, A.T. (2015). 'Adaptation of the Highway Capacity Manual to Spanish Two-Lane Highways'. En: *Pendiente de envío a revista indexada*.

Moreno, A.T. (2015). 'A Methodology to Evaluate Traffic Performance of Two-Lane Highways including Average Passing Zone Length'. En: *Pendiente de envío a revista indexada*.

En la primera de ellas se presentó el análisis de la efectividad de las zonas de adelantamiento aisladas, que se recoge en la Sección 9.3. En la segunda publicación se presentan los resultados del análisis de la funcionalidad del tráfico en secciones de carretera convencional, que se corresponde con el análisis de la Sección 9.2. En la tercera publicación, se incluye el análisis preliminar de segmentos de carretera convencional mediante microsimulación, descrito en el Capítulo 11. Además, se han añadido dos artículos pendientes de envío a revistas indexadas que se corresponden con el análisis de la Sección 11.4. En ellos se incluye la adaptación de metodología de evaluación del HCM 2010 a las condiciones españolas y la ampliación de la metodología incluyendo el efecto de la longitud media de las zonas de adelantamiento. Las cinco publicaciones se incluyen en la Sección B.5.

Las publicaciones en revistas se corresponden con comunicaciones en los siguientes congresos (3):

Moreno, A.T., C. Llorca, A. García y A.M. Pérez-Zuriaga (2013b). 'Operational Effectiveness of Passing Zones depending on their Length and Traffic Volume'. En: *93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington (US).

Moreno, A.T., C.Llorca, T. Sayed, A. García. (2014d) 'Field Evaluation of Traffic Performance Measures for Two-Lane Highways in Spain'. En: *93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington (US).

Moreno, A.T., C.Llorca, J.E.J. Bessa, A. García, D. Hale. (2014a). 'Evaluación de medidas de comportamiento del tráfico considerando las zonas de adelantamiento de carreteras convencionales mediante microsimulación'. En: *Congreso de Ingeniería de Transporte*. Santander (ES).

Asimismo, la participación en el proyecto de investigación PASSING, el cual enmarca la línea de investigación de la presente Tesis Doctoral, también ha contado con publicaciones de las otras vertientes de la maniobra de adelantamiento. Las publicaciones en revistas indexadas (9) son:

Moreno, A.T., C. Llorca, A. Lenorzer, J. Casas y A. García (2015a). 'Minimum Passing Zone Length Design Criteria Considering Operational and Safety Impacts'. En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. Aceptado, pendiente de publicación.

Hale, D., C. Antoniou, M. Brackstone, D. Michalaka, A.T. Moreno y K. Parikh (2015a). 'Optimization-Based Assisted Calibration of Traffic Simulation Models'. En: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Aceptado, pendiente de publicación doi:10.1016/j.trc.2015.01.018.

Llorca, C., A.T. Moreno, T. Sayed y A. García (2014a). 'Risk Evaluation of Passing Sight Sistance Standards Based on Observational Data'. En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2404, págs. 18-26.

Llorca, C., A.T. Moreno, A. Lenorzer, J. Casas y A. García (2014b). 'Development of a New Microscopic Passing Maneuver Model for Two-Lane Rural Roads'. En: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*.

Llorca, C., A.T. Moreno, A. García y A.M. Pérez-Zuriaga (2013a). 'Multiple Passing Maneuvers: New Design and Marking Criteria to Improve Safety'. En: *Advances in Transportation Studies: an International Journal Special Issue*, págs. 71-82.

Llorca, C., A.T. Moreno, A. García y A.M. Pérez-Zuriaga (2013b). 'Influence of Age, Gender and Delay on Overtaking Dynamics'. En: *IET Intelligent Transport Systems* 7 (2), págs. 174-181.

Llorca, C., A.T. Moreno, A. García y A.M. Pérez-Zuriaga (2013c). 'Daytime and Nighttime Passing Maneuvers on a Two-Lane Rural Road in Spain'. En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2258, págs. 3-11.

García A., C. Llorca, A.T. Moreno y A.M. Pérez-Zuriaga (2012a). 'Diseño y aplicaciones de un vehículo instrumentalizado: Observación de Maniobras de Adelantamiento'. En: *Rutas* 148, págs. 2-10.

García A., M.A. Romero, A.T. Moreno y C. Llorca (2010). 'Desarrollo y aplicaciones de un nuevo laboratorio móvil de tráfico'. En: *Rutas* 139, págs. 10-18.

Finalmente, las participaciones en congresos (12) son):

Moreno, A.T., C. Llorca, A. Lenorzer, J. Casas y A. García (2015b). 'Minimum Passing Zone Length Design Criteria Considering Operational and Safety Impacts'. En: *94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C. (US).

Hale, D., C. Antoniou, M. Brackstone, D. Michalaka y A. T. Moreno (2015b). 'Comparison of Optimization Methods for Assisted Calibration of Traffic Micro-Simulation'. En: *94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C. (US).

Moreno, A.T., C. Llorca, J.M. Orón-Orón y A. García (2015c). 'Characterization of Passing Zones based on Curvature Change Rate: Operational Impact'. En: *5th International Symposium of Highway Geometric Design*. Vancouver (CA).

Llorca, C., A.T. Moreno, T. Sayed y A. García (2014c). 'Risk Evaluation of Passing Sight Sistance Standards Based on Observational Data'. En: *93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C. (US).

- 
- Llorca, C., A.T. Moreno, V. Valencia-Alaix y A. García (2014d). 'Daytime and Nighttime Following Behavior on Monitored Two-Lane Rural Road'. En: *93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C. (US).
- Hale, D., C. Antoniou, M. Brackstone, D. Michalaka, A. T. Moreno y K. Parikh (2014b). 'Comparison of Optimization Methods for Assisted Calibration of Traffic Micro-Simulation'. En: *1st International Conference on Engineering and Applied Sciences Optimization*. Kos Island (GR).
- Llorca, C., E.Gómez, A. García, A.T. Moreno y A.M. Pérez-Zuriaga (2014e). 'Estudio del adelantamiento a camiones en carretera convencional'. En: *XI Congreso de Ingeniería de Transporte*. Santander (ES).
- Llorca, C., A.T. Moreno, A. García y A.M. Pérez-Zuriaga (2013d). 'Daytime and Nighttime Passing Maneuvers on a Two-Lane Rural Road on Spain'. En: *92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C. (US).
- Llorca, C., A.T. Moreno, A. García, A.M. Pérez-Zuriaga y F.J. Camacho-Torregrosa (2013e). 'Multiple Passing Maneuvers: New Design and Marking Criteria to Improve Safety'. En: *4th International Conference on Road Safety and Simulation*. Rome (IT).
- Llorca, C., A. García, A.T. Moreno y A.M. Pérez-Zuriaga (2012b). 'New Experimental Approach for Passing Gap Acceptance'. En: *91st Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C. (US).
- Llorca, C., A. García, A.T. Moreno y A.M. Pérez-Zuriaga (2012c). 'Human Factor Effects on Passing Decision'. En: *3rd European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems*. Valencia (ES).
- Llorca, C., A. García, A.T. Moreno, A.M. Pérez-Zuriaga y E. Pellicer (2012d). 'Evaluación de la efectividad de las zonas de adelantamiento permitido en carretera convencional en función de su longitud'. En: *X Congreso de Ingeniería de Transporte*. Granada (ES).



## Anexo B

# Summary of the Thesis

This Chapter includes the summary in English of the PhD Thesis 'Operational analysis of two-lane highways depending on the distribution and characteristics of their passing zones'. In Section B.1 is the introduction, research motivation and the structure of the PhD Thesis. The objectives, as well as the hypotheses, are in Section B.2 and Section B.3, respectively. The conclusions of the research are in Section B.4. As some parts of the analysis have been already published, it is included one list of the articles in Section B.5. This Section also contains the articles and their relationship with the PhD Thesis in Spanish.

### **B.1 Introduction**

Two-lane highways have a level of interaction between vehicles traveling in the same and in opposing direction that results in unique operational characteristics; mainly because faster vehicles that want to travel at their desired speed face the oncoming traffic in the opposite lane and may suffer delays because of their inability to pass slow-moving vehicles. Thus, the possibility of performing passing maneuvers usually increases perceived level of service due to delay reduction.

Geometric design should provide zones where passes can be performed safely. Passing sight distance criteria are used in the design and marking processes to ensure that sight distance and passing zone length is enough to safely perform passing maneuvers, where oncoming traffic permits. However, current design practice leads to more sinuous alignments instead of straight segments. As a result, available sight distance is limited and passing zones are reduced.

Geometric design in Spain is based on the norm 3.1. I.C. (Ministerio de Fomento, 1999). It provides design elements to be combined into the roadway alignment. The standard is intended to provide operational efficiency, comfort, safety and convenience for the motorist. Specifically, the length of roadway with sight distance ahead equal to or greater than the minimum passing sight distance should be as long as practical (Ministerio de Fomento, 1999). The desirable proportion is 40 % of the total length, for each travel direction; and passing zones and no passing zones should be evenly distributed. The standards indirectly expect to accommodate the design hourly volume.

In order to analyze the level of service, Spanish standards rely on the procedures in the US Highway Capacity Manual (Transportation Research Board, 2010). For two-lane highways, the level of service is based on three performance measures: average travel speed, percent time spent following and percent free flow speed. The effect of passes is reflected on adjustment factors to the performance measures, obtained from simulations in TWOPAS.

The effects of passing zones are based only on the percentage of no-passing zones, rather than the actual no-passing zone frequency and location, which may produce the differences between the HCM estimates and the microsimulation results in TWOPAS (Courage et al., 2010) and CORSIM (Washburn et al., 2012). Moreover, passing maneuvers in TWOPASS were modeled based on field data collected in

the 1970s (Harwood et al., 1999) and no indications on the precision of the adjustment or how passing zones where distributed were given (Luttinen, 2001). Consequently, there is a need to document current passing behavior and relate it to traffic performance, as identified by the subcommittee on two-lane highways of the Transportation Research Board in 2007.

Previous passing studies were theory-based (Wardrop, 1952; Daganzo, 1975; Troutbeck, 1982) and field studies (Dommerholt y Botma, 1988; Kaub, 1990; Morrall y Werner, 1990; Romana, 1999; Hegeman, 2004; Mwesige et al., 2014a). Theoretical models estimate higher passing frequencies than field studies. Moreover, differences on traffic flows, directional split, passing zone length and perhaps driver behavior resulted in high dispersion on the number of passes observed in field. The only study in Spain, Romana (1999), found that passing was maximized for balanced flows between 500 and 800 veh/h. However, the number of passing maneuvers was not modelled.

Unfortunately, field measurements can be expensive, dangerous, and most importantly, they do not provide sufficient repeatability for all the traffic volume range; so the conclusions may only be applicable on the observed conditions. Therefore, traffic microsimulation may be needed. These models describe the individual behavior of each vehicle, including their acceleration, deceleration, car-following and lane changing (Barcelo, 2010). Microsimulation models must be calibrated and validated with field data in order to minimize the differences between the observed and simulation results (Federal Highway Administration, 2004; Egami et al., 2006; Barcelo, 2010).

Not all the traffic microsimulation models can accommodate passing maneuvers. The Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) includes a passing model as part of the Traffic Analysis Module (TAM, previously named TWOPAS). This model was used to determine the adjustment factors of the HCM (Harwood et al., 1999). Recent studies calibrated TWOPAS with field data to analyze ATS and PTSF in Brazil (Bessa y Setti, 2011), the addition of climbing lanes to facilitate passing (Valencia-Alaix y García, 2010) or the operational contribution of short passing zones (Harwood et al., 2010).

Besides TWOPAS, CORSIM (Li y Washburn, 2011), TWOSIM (Kim y Elefteriadou, 2010), RutSim (Hegeman et al., 2009), OTSIM (Ghods y Saccomanno, 2014) and Aimsun (Llorca et al., 2014) have incorporated passing maneuvers to the two-lane highway module. TRARR was also developed specifically for two-lane highways and was used in Australia in the past, but the ARRB is not planning any further development of TRARR (Koorey, 2002).

On the other hand, even though the procedure of the HCM 2010 is the most extended and has been adapted to local conditions in Finland (Luttinen, 2000), Brazil (Bessa y Setti, 2011) or Argentina (Maldonado et al., 2012), the performance measures are difficult to measure on the field. In fact, they fail to satisfy the ideal conditions, such as being easy to measure and estimate, correlate to traffic and roadway conditions in a meaningful way or be compatible with the performance measures of other facilities. Consequently, some authors proposed alternative performance measures, such as: average travel speed of passenger cars (Brilon y Weiser, 2006); percent impeded (Al-Kaisy y Durbin, 2008); follower density (van As y van Niekerk, 2004); or freedom of flow (Polus y Cohen, 2009). Follower density had the strongest correlation to traffic variables in the field studies (Al-Kaisy y Karjala, 2008; Oregon Department of Transportation, 2010; Hashim y Abdel-Wahed, 2011). However, not all the measures were compared and the main hypotheses of the regression analyses were verified.

### **B.1.1 Research Motivation**

To sum up, even though traffic operations have been studied in detail, the effect of individual passing zones has not been analyzed. So, there is a need to evaluate traffic performance considering passing zones and traffic characteristics. To do so, current passing behavior along passing zones must be documented and alternative performance measures should be taken into consideration. Moreover, field data should be used to calibrate and validate a traffic microsimulation model to increase the scope of the conclusions. The model should cover the whole range of traffic volume, directional split and traffic composition on the same highway; as well as passing zone frequency and location. The results could be applied to develop criteria to adequately include passing zones in the geometric design and to evaluate traffic operations in Spanish two-lane highways.

### B.1.2 Chapter Organization

This document consists of thirteen Chapters beyond the Background (**Chapter 1**) and Introduction (**Chapter 2**).

**Chapter 3** (State of the Art) gives an overview of the previous studies on design and use of two-lane highway passing zones. It includes the review of geometric design and marking guidelines (Section 3.1); studies of number of passing maneuvers and traffic flow (Section 3.2); analytical methodologies for evaluating two-lane highway operations (Section 3.3); two-lane highway simulation tools (Section 3.4); and operational studies on two-lane highways (Section 3.5).

**Chapter 4** (Objectives) includes the aim of the research and the specific objectives. **Chapter 5** (Hypotheses) establishes the main hypotheses of the study, which will be verified or rejected on the PhD Thesis. Objectives and hypotheses are translated to English in Section B.2 and Section B.3. Limitations and methodology are also described on **Chapter 6** (Limitations) and **Chapter 7** (Methodology), respectively.

**Chapter 8** (Field Study) describes the field study, including the sites' selection (Section 8.1); data collection (Section 8.2) and data reduction (Section 8.3). The analysis of the observational data is in **Chapter 9** (Operational Analysis of Passing Zone Sections). Operational analysis of road sections before passing zones is included in Section 9.2. The effectiveness of passing zones is analyzed in Section 9.3.

**Chapter 10** (Microsimulation Study) presents the calibration and validation of the traffic microsimulation model (TWOPAS). The calibration used genetic algorithms and was based on field data. The case study scenarios are defined in Section 10.2. Specific data reduction from the simulation output is given in Section 10.3. The analysis of the microsimulation outputs is in **Chapter 11** (Operational Analysis of Road Segments). It is presented the analysis of individual scenarios (Section 11.2); number of passes on road segments (Section 11.2) and operational analysis of road segments (Section 11.4).

**Chapter 12** (Discussion) is devoted to the discussion of the results from both field study and simulations. **Chapter 13** (Conclusions) summarizes the main conclusions of the study. This chapter is translated to English on Section B.4.

Finally, the applications of the research are described in **Chapter 14** (Applications) and the future study is proposed in **Chapter 15** (Future Research).

The PhD Thesis includes three Appendices beyond the current Appendix. **Appendix A** includes a list of the publications related to the PhD Thesis and the research topic. This Appendix is translated to English in Section B.5. **Appendix C** and **Appendix D** contain the statistical analysis of the field study and the simulation study, respectively.

## B.2 Objectives

The aim of the PhD Thesis is to evaluate the influence of passing zones location and characteristics on two-lane highways' operation.

To do so, the number of passes must be modelled based on field data. Later, the data will be used to calibrate and validate one traffic microsimulation model. The model will be applied to scenarios different than the observed. Consequently, the effectiveness of passing zones considering their characteristics and locations will be analyzed.

The following specific objectives are defined:

- Update the State-of-the-Art.
- Design one methodology to collect data in passing zones and characterize traffic operations.

- Collect data in the field under naturalistic conditions.
- Analyze the effectiveness of passing zones and traffic operations on the observed conditions.
- Calibrate one traffic microsimulation model with field data.
- Validate the traffic microsimulation model with additional field data.
- Generate new case study scenarios varying the lengths and locations of passing zones; as well as traffic demand.
- Analyze the number of passes and performance measures on the simulated scenarios.
- Compare and discuss the results from the field study and microsimulation study with previous research and international guidelines.
- Propose technical criteria to adequately include passing zones during geometric design process and propose the local adaptation of the methodology to evaluate traffic operations in two-lane highways.

The research analyzes in detail the impact of passing zones in traffic operations. Design criteria will be proposed based on the conclusions. Moreover, the local adaptation of the methodology to evaluate traffic operations will be developed, as well as models to estimate the number of passing maneuvers in two-lane highway segments.

### **B.3 Hypotheses**

The hypotheses of the research have been established based on the review of the State-of-the-Art (Chapter 3). The hypotheses will be accepted or rejected depending on the results of the research.

Firstly, the number of passes will increase as the traffic volume increases up to the optimal traffic volume. From that point, the number of passes will decrease as the gaps on the opposing traffic lane are reduced. The increase on the number of passes will be insufficient to accommodate all the desired passing maneuvers, so the passing ratio will always decrease. On the other hand, the number of passes will increase as the passing zone length increases. However, the effectiveness will stabilize up to a certain length. From that point, only catch-up vehicles along the passing zone will be performing passing maneuvers; so the marginal improvement on traffic performance will be very low.

Secondly, passing zones distribution will affect traffic operations. The scenarios with longer passing zones will be more functional than scenarios with shorter passing zones; for equal percentage of no-passing zones. Moreover, the location of passing zones at the end of the road segment will improve traffic operations compared to a higher concentration of passing zones at the beginning of the road segment. The initial no-passing zone will generate queues that will be dispersed at the final passing zone. Therefore, the passing zones will be more effective.

Thirdly, platooning-based traffic performance measures will produce stronger correlations to traffic variables compared to speed-based performance measures. The best correlation will be for follower density because it includes the traffic flow in its definition. Moreover, the performance measures from traffic theory will overestimate traffic performance and will have lower correlation to traffic volume because their main hypotheses will not be accomplished in the field.

Finally, the calibration of the traffic microsimulation model with field data will reduce the average error between the model estimates and field data.



## B.4 Conclusions

The conclusions of this research are obtained from the methodology, analyses and discussion.

Regarding the **methodology**:

- Coordinated video recordings can be used to collect data in two-lane highways to characterize the number of passes and traffic performance.
- Calibration of the traffic microsimulation model is crucial to adequately represent the observed behavior.
- Only percent followers with integer headways can be obtained with TWOPAS. Further development of TWOPAS or alternative microsimulation models should be considered to study in detail the following condition.

Regarding **traffic operations in two-lane highway sections**:

- Speed-related performance measures had the weakest correlations to traffic variables, while theory-based traffic performance measures had higher dispersion than other platooning-related performance measures.
- Percent followers is an exponential function, similarly to the HCM 2010, and depends mainly on directional traffic volume.
- Follower density had the strongest correlation to traffic variables and it depends on directional traffic volume, traffic volume in the opposing direction and percentage of trucks.
- Traffic volume in the opposing direction does not have significant influence on the results. The observed traffic flows are mainly balanced and could lead to non-significant effect of the directional split. The influence of this variable must be studied by using microsimulation.

Regarding **the effect of isolated passing zones**:

- Increase on passing maneuvers is not proportional to the increase in passing zone length. The number of passes is multiplied by 3.48 when the passing zone length increases from 250 to 1000 m; and it multiplies by 14.8 for passing zone length of 5000 m.
- The number of passing maneuvers depends on the directional traffic volume and the interaction between directional and opposing traffic volume. The number of passes is maximum for directional traffic flows between 400 and 450 veh/h. The results are comparable to previous studies in Spain (Romana, 1999).
- Passing ratio decreases as directional traffic volume increases. The increase on the number of passes with directional traffic volume is lower than the increase on passing demand.
- Traffic performance measures tend to improve as the passing zone length increases. However, the results are not statistically significant. The analysis of passing zones along road segments needs to be further studied, rather than isolated passing zones to determine adequately their influence.

Regarding **the analysis of road segments**:

- Directional split has a profound effect on traffic performance. Therefore, directional analysis will be preferred.
- Percentage of no-passing zones is not enough to evaluate the effect of passing zones in average travel speed (*ATS*) and percent time spent following (*PTSF*). The differences between the base configuration and other scenarios are minimized for scenarios where passing is limited by the opposing traffic volume, such as low directional split (lower than 30/70) or high directional

traffic volume (higher than 800 veh/h for balanced flows). This relationship is found in all the adjustments.

- *ATS* depends on directional traffic volume, opposing traffic volume and percentage of trucks. The presence of trucks reduces *ATS*, however the effect is lower than directional traffic volume and directional split. *ATS* decreases linearly with directional traffic volume, similarly to the HCM 2010. The HCM 2010 produces lower estimates than the simulation and the Argentinian model (Maldonado et al., 2012) only produces good results in high directional splits (higher than 70/30). Field study from Romana y Núñez (2011) in M-305 estimates fairly *ATS* for favorable directional split (higher than 60/40).
- Standard deviation of average travel speed is constant and equal to 2.5 km/h. The high dispersion of the variable, compared to its variation range, produces adjustments with lower correlation than the adjustments for *PTSF*.
- *PTSF* increases as the directional traffic volume increase. The model the same as the HCM 2010, however, the influence of opposing traffic volume is modeled. Directional split has significant effect on the results, increasing *PTSF* from 25 to 62 % for the same directional traffic volume (250 veh/h). Brazilian model (Bessa y Setti, 2011) and Argentinian model (Maldonado et al., 2012) produce lower average error but the first underestimate the variable in low directional split and the second overestimate the variable in low directional traffic volumes. The differences can be up to 25 %. The US model (Transportation Research Board, 2010) underestimate *PTSF* in almost all the scenarios. Field data studies report only linear models, that are not adapted to the functional form of the variable.
- The influence of percentage of no-passing zones (*NPZ*) is maximum for directional traffic volumes between 300 and 500 veh/h. This range also maximizes the number of passing maneuvers. The influence of *NPZ* on *ATS* is cubic with directional traffic volume, opposing traffic volume, percentage of trucks and percentage of no-passing zones. On the other hand, the influence on *PTSF* is inverse to the directional traffic volume and does not depend on the percentage of trucks.
- Traffic performance deteriorates as the length of passing zones decrease. The relationship is not linear. Very short passing zones (250 m) produce the same results as no-passing zones; and passing zone lengths longer than 1000 m do not decline traffic performance significantly, compared to longer passing zones. On the other hand, two passing zones of 2500 m produce better results than one passing zone of 5000 m for directional traffic volumes between 400 and 600 veh/h. It can be established four groups with similar behavior: very short passing zones (250 m); short passing zones (500, 714 and 1000 m); medium passing zones (1250, 1670 m); and long passing zones (2500, 5000 m).
- Even distributions of passing zones are more efficient than uneven distributions, considering directional analysis, even though some uneven distributions produce more passing maneuvers. Considering both directions of travel, traffic performance is much better than uneven distributions. Passing zones located at the end of the segment produce better results than other uneven distributions, however they are all worse than the symmetrical distribution. The behavior is similar to reducing the passing zone length from 2500 m to 714 m.
- Qualitative criteria could be established to improve traffic operations. Passing zone location should be evenly distributed along the road segment, and the passing zone length should be between 1000 and 2500 m, preferably longer than 1670 m. Under those conditions, traffic performance is improved and the number of passes is minimum.

#### Regarding the number of passes on road segments:

- The number of passes is maximized for a given directional traffic volume. This range depends on directional split: 300 veh/h for directional split of 40/60 and 800 veh/h for directional split of 70/30; and it does not depend on passing zone length. Directional traffic volumes between 400 and 500 veh/h maximize the number of passes and the reduction on *PTSF* and *ATS*. Moreover,

passing zones are not effective for directional traffic flows higher than 800 veh/h and balanced flows.

- Wardrop (1952) theoretical model adjusted with the passing ratio of Normann (1942) produces good estimations of the number of passes in favourable directional splits. It overestimates the passing frequency for directional splits lower than 40/60.
- Average passing zone length is as a multiplier of the number of passes. However, the influence is not linear. The number of passes is reduced by 43 % when the passing zone length decreases from 10000 to 2500 m. The reduction is to 11 % when average passing zone length is 250 m.
- Passing frequency varies with passing zone distribution: passing maneuvers are maximized when the passing zones are located at the end of the segment. The increase could be up to 50 % compared to a centered distribution.

Regarding **the use of the HCM 2010 methodology for two-lane highways**:

- The linear model of the *Highway Capacity Manual* produces the lowest error. However, the *Highway Capacity Manual* underestimates average travel speed for all directional traffic flows.
- The *Highway Capacity Manual* underestimates the percent time spent following for all scenarios. The biggest differences are in directional splits lower than 40/60. From 50/50, it overestimates the *PTSF* for directional traffic flows lower than 250 veh/h. Consequently, the extrapolation of their observed traffic behavior may not be accurate for low traffic volumes.
- It is not recommended the use of the HCM 2010 methodology to Spanish two-lane highways, despite the good estimates of the Spanish models to previous US field studies. Moreover, the effect of average passing zone length is not included and may affect the results.
- The three second headway criterion could be used as surrogate measure for *PTSF*, even though they are not completely related. Further study is needed to determine the exact headway criterion, between 3 and 4 seconds.

The results provide tools to analyze traffic performance on Spanish two-lane highways. The methodology can be used to develop our own local adaptation of the HCM 2010.

The conclusions are limited to the observed and simulated conditions. Therefore, they can be applied to highways in Valencia province, with speed limit of 100 km/h, low sinuosity and level terrain. Uneven distribution of passing zones should be studied by using traffic microsimulation. Moreover, adverse weather and deteriorated pavement were not considered on the analysis.

On the other hand, traffic performance was evaluated based on the percent time spent following and the average travel speed. No alternative measures were considered because of the limitations of TWOPAS. Further studies are needed to establish the follower criterion, so percent followers and follower density may be obtained and considered as surrogate performance measures.

## B.5 List of publications

During the development of the PhD Thesis, some of the results have been published in indexed journals and conference proceedings. Specifically, the following articles (5) have been developed:

Moreno, A.T., C. Llorca, A. García y A.M. Pérez-Zuriaga (2013a). 'Operational Effectiveness of Passing Zones depending on their Length and Traffic Volume'. En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2395, págs. 57-65.

Moreno, A.T., C.Llorca, T. Sayed, A. García. (2014a) 'Field Evaluation of Traffic Performance Measures for Two-Lane Highways in Spain' En: *Transportation Research Circular*.

- Moreno, A.T., C.Llorca, J.E.J. Bessa, A. García, D. Hale. (2014b). 'Evaluación de medidas de comportamiento del tráfico considerando las zonas de adelantamiento de carreteras convencionales mediante microsimulación'. En: *Carreteras* 198.
- Moreno, A.T. (2015a). 'Adaptation of the Highway Capacity Manual to Spanish Two-Lane Highways'. En: *The manuscript will be sent to an indexed journal*.
- Moreno, A.T. (2015b). 'A Methodology to Evaluate Traffic Performance of Two-Lane Highways including Average Passing Zone Length'. En: *The manuscript will be sent to an indexed journal*.

The first article presents the analysis of the effectiveness of isolated passing zones (Section 9.3 of the PhD Thesis). The second article describes the analysis of traffic performance on two-lane highway sections (Section 9.2 of the PhD Thesis). The third article includes the preliminary analysis of road segments from traffic simulation, which is described in Chapter 11 of the PhD Thesis. Two manuscripts are also included on the list; which will be sent to indexed journals. They develop the local adaptation of the HCM methodology; and, the effect of the average passing zone length on the methodology. Both articles develop the analysis of Section 11.4 of the PhD Thesis.

The published articles were previously presented on the following conferences (3):

- Moreno, A.T., C. Llorca, A. García y A.M. Pérez-Zuriaga (2013b). 'Operational Effectiveness of Passing Zones depending on their Length and Traffic Volume'. En: *93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington (US).
- Moreno, A.T., C.Llorca, T. Sayed, A. García. (2014d) 'Field Evaluation of Traffic Performance Measures for Two-Lane Highways in Spain'. En: *93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington (US).
- Moreno, A.T., C.Llorca, J.E.J. Bessa, A. García, D. Hale. (2014a). 'Evaluación de medidas de comportamiento del tráfico considerando las zonas de adelantamiento de carreteras convencionales mediante microsimulación'. En: *Congreso de Ingeniería de Transporte*. Santander (ES).

On the other hand, the participation on the research project PASSING allowed to publish other articles related to safety of passing maneuvers. The publications in journals (9) are:

- Moreno, A.T., C. Llorca, A. Lenorzer, J. Casas y A. García (2015a). 'Minimum Passing Zone Length Design Criteria Considering Operational and Safety Impacts'. En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. In press.
- Hale, D., C. Antoniou, M. Brackstone, D. Michalaka, A.T. Moreno y K. Parikh (2015a). 'Optimization-Based Assisted Calibration of Traffic Simulation Models'. En: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. In press doi:10.1016/j.trc.2015.01.018.
- Llorca, C., A.T. Moreno, T. Sayed y A. García (2014a). 'Risk Evaluation of Passing Sight Distance Standards Based on Observational Data'. En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2404, págs. 18-26.
- Llorca, C., A.T. Moreno, A. Lenorzer, J. Casas y A. García (2014b). 'Development of a New Microscopic Passing Maneuver Model for Two-Lane Rural Roads'. En: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*.
- Llorca, C., A.T. Moreno, A. García y A.M. Pérez-Zuriaga (2013a). 'Multiple Passing Maneuvers: New Design and Marking Criteria to Improve Safety'. En: *Advances in Transportation Studies: an International Journal Special Issue*, págs. 71-82.
- Llorca, C., A.T. Moreno, A. García y A.M. Pérez-Zuriaga (2013b). 'Influence of Age, Gender and Delay on Overtaking Dynamics'. En: *IET Intelligent Transport Systems* 7 (2), págs. 174-181.

- Llorca, C., A.T. Moreno, A. García y A.M. Pérez-Zuriaga (2013c). 'Daytime and Nighttime Passing Maneuvers on a Two-Lane Rural Road in Spain'. En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2258, págs. 3-11.
- García A., C. Llorca, A.T. Moreno y A.M. Pérez-Zuriaga (2012a). 'Diseño y aplicaciones de un vehículo instrumentalizado: Observación de Maniobras de Adelantamiento'. En: *Rutas* 148, págs. 2-10.
- García A., M.A. Romero, A.T. Moreno y C. Llorca (2010). 'Desarrollo y aplicaciones de un nuevo laboratorio móvil de tráfico'. En: *Rutas* 139, págs. 10-18.
- The conference proceedings (12) are:
- Moreno, A.T., C. Llorca, A. Lenorzer, J. Casas y A. García (2015b). 'Minimum Passing Zone Length Design Criteria Considering Operational and Safety Impacts'. En: *94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C. (US).
- Hale, D., C. Antoniou, M. Brackstone, D. Michalaka y A. T. Moreno (2015b). 'Comparison of Optimization Methods for Assisted Calibration of Traffic Micro-Simulation'. En: *94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C. (US).
- Moreno, A.T., C. Llorca, J.M. Orón-Orón y A. García (2015c). 'Characterization of Passing Zones based on Curvature Change Rate: Operational Impact'. En: *5th International Symposium of Highway Geometric Design*. Vancouver (CA).
- Llorca, C., A.T. Moreno, T. Sayed y A. García (2014c). 'Risk Evaluation of Passing Sight Distance Standards Based on Observational Data'. En: *93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C. (US).
- Llorca, C., A.T. Moreno, V. Valencia-Alaix y A. García (2014d). 'Daytime and Nighttime Following Behavior on Monitored Two-Lane Rural Road'. En: *93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C. (US).
- Hale, D., C. Antoniou, M. Brackstone, D. Michalaka, A. T. Moreno y K. Parikh (2014b). 'Comparison of Optimization Methods for Assisted Calibration of Traffic Micro-Simulation'. En: *1st International Conference on Engineering and Applied Sciences Optimization*. Kos Island (GR).
- Llorca, C., E.Gómez, A. García, A.T. Moreno y A.M. Pérez-Zuriaga (2014e). 'Estudio del adelantamiento a camiones en carretera convencional'. En: *XI Congreso de Ingeniería de Transporte*. Santander (ES).
- Llorca, C., A.T. Moreno, A. García y A.M. Pérez-Zuriaga (2013d). 'Daytime and Nighttime Passing Maneuvers on a Two-Lane Rural Road on Spain'. En: *92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C. (US).
- Llorca, C., A.T. Moreno, A. García, A.M. Pérez-Zuriaga y F.J. Camacho-Torregrosa (2013e). 'Multiple Passing Maneuvers: New Design and Marking Criteria to Improve Safety'. En: *4th International Conference on Road Safety and Simulation*. Rome (IT).
- Llorca, C., A. García, A.T. Moreno y A.M. Pérez-Zuriaga (2012b). 'New Experimental Approach for Passing Gap Acceptance'. En: *91st Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C. (US).
- Llorca, C., A. García, A.T. Moreno y A.M. Pérez-Zuriaga (2012c). 'Human Factor Effects on Passing Decision'. En: *3rd European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems*. Valencia (ES).
- Llorca, C., A. García, A.T. Moreno, A.M. Pérez-Zuriaga y E. Pellicer (2012d). 'Evaluación de la efectividad de las zonas de adelantamiento permitido en carretera convencional en función de su longitud'. En: *X Congreso de Ingeniería de Transporte*. Granada (ES).

1 **OPERATIONAL EFFECTIVENESS OF PASSING ZONES DEPENDING ON THEIR**  
2 **LENGTH AND TRAFFIC VOLUME**

3  
4 Corresponding Author:

5 **Ana Tsui Moreno**

6 Ph.D. Candidate

7 Highway Engineering Research Group

8 Universitat Politècnica de València

9 Camino de Vera, s/n. 46022 – Valencia. Spain

10 Tel: (34) 96 3877374

11 Fax: (34) 96 3877379

12 E-mail: [anmoch@cam.upv.es](mailto:anmoch@cam.upv.es)

13  
14 Other Authors:

15 **Carlos Llorca**

16 Ph.D. Candidate

17 Highway Engineering Research Group, Universitat Politècnica de València

18 Camino de Vera, s/n. 46022 – Valencia. Spain

19 Tel: (34) 96 3877374

20 Fax: (34) 96 3877379

21 E-mail: [carlloga@cam.upv.es](mailto:carlloga@cam.upv.es)

22  
23 **Alfredo García**

24 Professor

25 Highway Engineering Research Group, Universitat Politècnica de València

26 Camino de Vera, s/n. 46022 – Valencia. Spain

27 Tel: (34) 96 3877374

28 Fax: (34) 96 3877379

29 E-mail: [agarciag@tra.upv.es](mailto:agarciag@tra.upv.es)

30  
31 **Ana María Pérez-Zuriaga**

32 Ph.D.

33 Highway Engineering Research Group, Universitat Politècnica de València

34 Camino de Vera, s/n. 46022 – Valencia. Spain

35 Tel: (34) 96 3877374

36 Fax: (34) 96 3877379

37 E-mail: [anpezu@tra.upv.es](mailto:anpezu@tra.upv.es)

38  
39  
40  
41 Submission date: July 27<sup>th</sup>, 2012

42  
43 Word count: Abstract: 315  
44 Manuscript: 5733  
45 Figures: 4 x 250 = 1000  
46 Tables: 6 x 250 = 1500  
47 **Total: 8233**

48  
49 **Key words:** Traffic operation, passing zone, two-lane highway, time spent following.

**1 ABSTRACT**

2 Two-lane highways operation has been deeply studied. Most of the studies are focused on percentage  
3 of following vehicles or the adjustment of the HCM procedure to local data. The HCM proposes the  
4 length of no-passing zones as a parameter on the model; however, the distribution and characteristics  
5 of the passing zones along the highway are not addressed. In fact, only a few studies on the expected  
6 number of passes on a passing zone have been carried out.

7 This research presents an analysis of the effectiveness of passing zones considering their  
8 length and traffic volume. Data were collected on four passing zones of one rural highway in Spain,  
9 with two-way traffic volumes ranging from 100 vh/h to 900 vh/h and lengths between 265 and 1270  
10 m. So, the influence of traffic flow on passing rates was calculated on the same passing zones. More  
11 than 1,600 passing maneuvers were recorded during the 53 hours of observation on the scenarios.

12 Operational effectiveness of passing zones was obtained from passing frequency, as the  
13 number of passes per time, and from passing rate, as the number of passes per time and following  
14 vehicle. It was found that the longer the passing zone, the higher passing frequency. However, the  
15 effectiveness of passing zones was stabilized from 1,100 m. On the other hand, balanced flows with  
16 two-way traffic volumes between 600 and 700 veh/h optimized the number of passes. Nevertheless,  
17 passing rate decreased as traffic volume increased. So, the increase in the passing frequency with the  
18 traffic volume is lower than the increase of following vehicles.

19 The results were validated with additional 46-hour data from another twelve passing zones  
20 with different lengths and traffic volumes.

21 Finally, Highway Capacity Manual adjustments on average travel speed and percentage time  
22 spent following based on percentage of no-passing zones do not reliably represent effectiveness of  
23 passing zones. Effectiveness of every passing zone should be considered instead.  
24

## 1 INTRODUCTION

2  
3 Two-lane highways have a level of interaction between vehicles traveling in the same and in opposing  
4 direction that results in unique operational characteristics; mainly because faster vehicles that want to  
5 travel at their desired speed face the on-coming traffic in the opposite lane and they may suffer delays  
6 because of their inability to pass slow-moving vehicles. Thus, passing maneuvers are used by drivers  
7 to relieve drivers stress, increase perceived level of service and reduce delay (1). On the other hand,  
8 passes are conditioned by the opposing lane occupation which generates a conflict area. In fact, even  
9 though passing is not one of the main causes of crashes in two-lane highways, its consequences are  
10 severe (2).

11 From a traffic operation perspective, the limited passing opportunities result in higher impact  
12 of slow-moving vehicles on traffic performance. The Highway Capacity Manual (HCM) utilizes the  
13 percentage time spent following (PTSF) and the average travel speed (ATS) as major performance  
14 indicators in two-lane highways (3). The effect of passes is reflected on the analysis procedure on  
15 both PTSF, depending on the combined effect of directional distribution of traffic and of the  
16 percentage of no-passing zones, and ATS, based on the percentage of no-passing zones.

17 In practice, PTSF is used as the indicator of platooning on two-lane highways; and refers to  
18 the percentage of travel time a vehicle is trapped in a platoon being unable to pass slow-moving  
19 vehicles. Many studies have been focused on PTSF and platooning (4 - 9), and they even developed  
20 new methodologies for estimating performance on two-lane highways based on the average number of  
21 headways inside and between platoons (10) and using speed and headways (5, 11). The 3-second  
22 headway rule was used to estimate the percentage following in most operational studies (4, 5, 6, 8, 12,  
23 13), as set on the HCM (3). However, other authors proposed 4 or 5 seconds (7, 10, 14, 15, 16). In  
24 fact, it was confirmed that interaction between successive vehicles on the same lane generally  
25 diminishes beyond a time headway threshold of 5-7 seconds (6). Besides, number of vehicles in  
26 platoons increase as traffic volume increases (10). Consequently, there is not a uniform criterion on  
27 the literature on following vehicles. PTSF is adjusted by the combined effect of the directional  
28 distribution of traffic and of the percentage of no-passing zones (3): the PTSF increases as the  
29 percentage of no-passing zones increases, for the same directional split; and it is maximum for a two-  
30 way flow rate equal to 400 pc/h. As the traffic proportion is more favorable, its influence decreases.

31 On the other hand, larger percentage of no-passing zones decrease ATS (3), and it also  
32 depends on the demand flow rate. The effect of no-passing zones on ATS on two-way segments is  
33 maximum for two-way flow rate of 400 pc/h. However, Luttinen (17) pointed out that the adjustments  
34 were obtained from simulations and no indications about the precision of the adjustment are given.

35 Morral and Werner (18) introduced the overtaking ratio for consideration as a measure of  
36 service on two-lane highways. The overtaking ratio was defined as the achieved passes divided by  
37 desired passes. The demand for passing was a function of the characteristics of drivers and vehicles  
38 while the supply of passing depended on the percentage of no-passing zones and the distribution of  
39 gaps in the opposing traffic stream. They stated that drivers' perception of level of service was based  
40 on their ability or inability to pass slower vehicles; and that ability depended on the supply of  
41 sufficient gaps in the opposing stream and sufficient sight distance; so, the overtaking ratio would  
42 better represent drivers' perception. Their findings supported the HCM and passing lanes could also  
43 be evaluated. However, the conclusions were based on simulations.

44 Moreover, the characteristics of the passing zone itself may influence on its effectiveness to  
45 allow passing maneuvers. From one of the only field studies on passing activities (1), it can be  
46 concluded that the longer the passing zone, the higher passes per unit length (passes/h/km).  
47 Furthermore, passing maneuvers are limited and typically performed using the opposing lane when  
48 sight distance and gaps in the opposing traffic stream permit. Therefore, passing frequencies may be



1 optimized on the same passing zone at some traffic volume, from which it will decrease the number of  
2 gaps in the opposing traffic stream and so the passing opportunities. Romana (1) found that passing  
3 was effective as relief and improvement of level of service for balanced flows around 500 to 800  
4 veh/h. However, the data sets were obtained from three highways with different lengths and traffic  
5 flows.

6 The present research deepens on the analysis of passing zones effectiveness considering the  
7 number of passes and the number of passes per following vehicle, depending on the passing zone  
8 length and traffic volume.

## 10 OBJECTIVES AND HYPOTHESES

11  
12 The aim of this research is to analyze the operational effectiveness of passing zones depending on the  
13 passing zone length and the traffic volume. Data were collected on four passing zones of one rural  
14 highway in Spain, with two-way traffic volumes ranging from 100 vh/h to 900 vh/h and lengths  
15 between 265 and 1270 m. So, the influence of traffic flow on passing rates was calculated on the same  
16 passing zones with different lengths. The effectiveness of passing zones was obtained from passing  
17 frequency, as the number of passing maneuvers (passes) per 15-minute period, and from passing rate,  
18 as the number of passing maneuvers per 15-minute period and following vehicle. The results were  
19 validated with additional data from another twelve passing zones with different lengths and traffic  
20 volumes.

21  
22 Based on the literature, the following hypotheses have been established:

- 23
- 24 - Passing frequency and passing rate would increase as the length of the passing zone increases.
- 25 - Passing frequency and passing rate would increase as the two-way traffic flow increases until
- 26 a maximum value, from which they would decrease as the gap sizes on the opposing traffic
- 27 stream decrease.
- 28

## 29 METHODOLOGY

30  
31 The methodology was conducted on three stages: field study; data reduction; and analysis of the  
32 results.

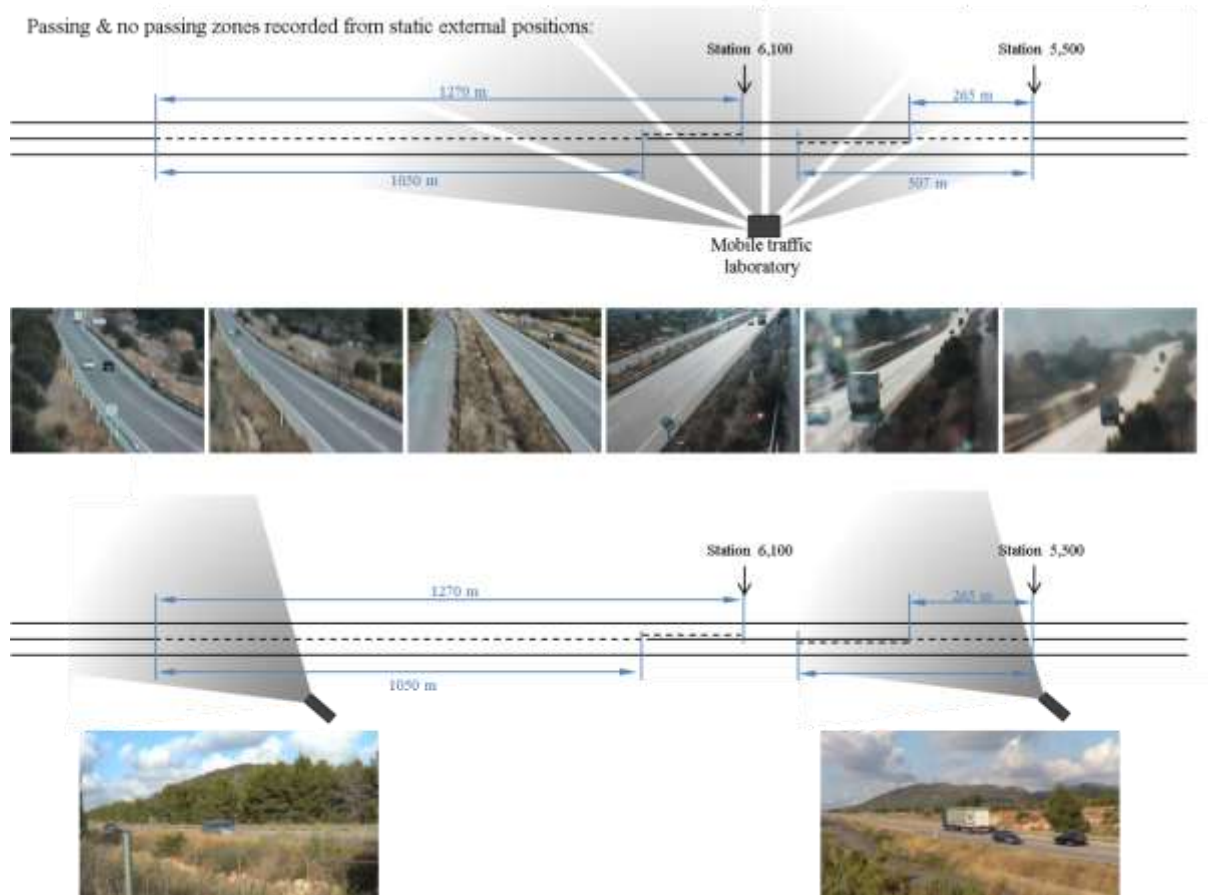
### 34 Field study

35 Data were collected in four passing zones on the N-225 highway in the province of Valencia, Spain.  
36 The total length of the highway segment is 15 km and it connects two major intercity routes and  
37 serves to daily commuter routes. Therefore, it can be classified as Class I two-lane highway. Design  
38 speed, as well as posted speed limit, is 100 km/h. Cross section was 3.5 m lane width and 1.5 m  
39 shoulder width. Annual average daily traffic was 5,577 veh/day in 2010.

40 The four passing zones, two on each travel direction, were located between stations 4+000  
41 and 6+000 in a tangent; with a no-passing zone between them caused by a vertical crest curve (Figure  
42 1). Their lengths were 265 and 1,270 m on the East bound; and 1,050 and 507 m on the West bound  
43 (Table 1).

44 A mobile traffic laboratory (19) was placed between the four passing zones next to the  
45 highway. It was equipped with six digital video cameras installed on the top of an elevator platform.  
46 Zoom and camera focus were adjusted on site using their wireless network to collect video images of  
47 the four passing zones simultaneously. Uniform quality on each zone was obtained. Videos were  
48 recorded a working day between 2 pm and 9 pm. Two-ways traffic volumes ranged from 120 to 390

1 vh/h. So, different traffic flows and traffic proportion could be analyzed on the same scenarios.  
 2 However, high-traffic volumes were not captured. Consequently, two additional data collection were  
 3 carried out during two hours one Friday afternoon, with traffic volumes between 360 and 560 vh/h;  
 4 and another two hours one Sunday afternoon with traffic volumes between 560 and 900 vh/h. The  
 5 additional data were collected using two coordinated video cameras. One was located at the beginning  
 6 of the longest passing zones and the other camera recorded the whole shortest passing zones. They  
 7 were not perceived by drivers (Figure 1).



8  
 9 **FIGURE 1** Field study design.

10  
 11 **TABLE 1** Calibration passing zones characteristics

ID	Highway	Station (m)	Bound	Passing zone length (m)	Two-way traffic volume (veh/h)	Number of passes	Duration (h)
1	N-225	5,500	1	265	120 - 900	148	13:00
2			2	507		279	
3		6,100	1	1270		680	
4			2	1050		542	
<b>TOTAL</b>						<b>1,649</b>	<b>52:00</b>

12  
 13 In order to validate the conclusions from one highway segment, twelve more passing zones  
 14 were analyzed. The mobile traffic laboratory was also parked next to the passing zone. Length and  
 15 traffic flows of the passing zones, as well as video duration and number of passes, are summarized in  
 16 Table 2.

17  
 18  
 19

1 **TABLE 2 Validation passing zones characteristics**

ID	Highway	Station (m)	Bound	Passing zone length (m)	Two-way traffic volume (veh/h)	Number of passes	Duration (h)
1	CV-50	84,500	1	600	215 - 365	52	4:00
2			2	850		43	
3		77,500	1	990	175 - 420	15	2:50
4			2	755		10	
5	CV-37	14,000	1	550	180 - 375	25	3:00
6			2	560		31	
7	CV-35	76,000	1	540	100 - 150	5	5:55
8			2	522		11	
9		44,500	1	1130	180 - 305	58	4:05
10			2	1265		48	
11	CV-25	5,000	1	1000	310 - 1,100	17	3:20
12			2	1000		62	
<b>TOTAL</b>						<b>377</b>	<b>46:20</b>

2  
3 Data were collected with dry pavement conditions and good weather, during working days. The  
4 mobile traffic laboratory was proven not to influence passing maneuvers (19).

#### 6 **Data reduction**

7 Video data was used to characterize passing frequency and passing rate. Traffic volumes, as well as  
8 following vehicles (FV) were also obtained. Moreover, accepted and rejected gaps, passing times and  
9 time-to-collision (TTC) were calculated for each passing maneuver for another research.

10 The counting period was 5 minutes and the results were aggregated in 15 minutes as the sum  
11 of three overlapping consecutive 5-minute period in order to skip the error of peak 15-minute period  
12 overlapped on two 15-minute counting periods (17). Then, equivalent hourly data were calculated  
13 based on the 15-minute data. Consequently, 456 15-minute periods were considered on the N-225,  
14 114 15-minute periods per passing zone. A total of 553 15-minute periods were analyzed considering  
15 the additional passing zones. The 15-minute period was chosen over hourly period times in order to  
16 better represent passing maneuvers, as peak traffic volumes and traffic proportion are smoothed on  
17 hourly periods. Besides, the capacities and service flow rates of the HCM are based on 15-minute  
18 periods.

19 Three-second headway was used to determine following vehicles: all the vehicles that had  
20 headway lower than 3 seconds with the preceding car were considered following vehicles. Percentage  
21 of following vehicles on the 15-minute period was calculated as the number of following vehicles  
22 divided by the number of vehicles on that traffic direction.

23 Passing maneuvers were obtained from the videos. As complete passing zones were recorded  
24 with the mobile traffic laboratory, passes were counted viewing the video. The shortest zones on the  
25 high-volume data collection were also recorded completely, so passing maneuvers were counted from  
26 the video without further data reduction. Passing maneuvers on the longest passing zones on high-  
27 volume data collection were obtained comparing the order of the vehicles at the beginning and the end  
28 of the passing zone. Whenever a change in sequence of vehicles was observed between the two  
29 videos, it was concluded that a passing maneuver had occurred on the passing zone. A total of 1,649  
30 passes were observed on the calibration scenarios on the 53 hours of videos. Passing maneuvers from  
31 the twelve validation scenarios were 377 on 46 hours.

32 Finally, passing rates were calculated dividing the number of passing maneuvers by the  
33 following vehicles at each 15-minute period. Consequently, a passing rate of 0.5 passes/following veh  
34 means that 50% of the vehicles following a leader inside a platoon performed a passing maneuver.

35

**ANALYSIS OF THE RESULTS**

One of the common mistakes on the statistical analysis of the results is to model the phenomenon without checking the assumptions of the statistical tests. For example, linear regression cannot be applied to count data, such as number of following vehicles, because they are not normally distributed. On the analysis, the most appropriated statistical test for each variable was considered. The following variables were analyzed: following vehicles (FV); percentage of following vehicles (%FV); passing frequency (PF); and, passing rates (PR). The results are presented on the following sections.

**Traffic characteristics**

Following vehicles and percentage of following vehicles were analyzed to characterize the traffic flow on the beginning of the passing zones.

As following vehicles are nonnegative integer values, usual statistical tests based on the assumption of a normal distribution, such as linear regression, cannot be applied. Usually, count data are modeled with a Poisson regression model. The Poisson model assumptions of non-truncated data, equality of mean and variance and non-preponderance of zeros were met. Consequently, the Poisson regression model was applied. The results of the Poisson regression model indicated that the one-way volume (veh/h) explained an 87% of the following vehicles variance ( $\alpha = 5\%$ ,  $R_p$ -Squared = 86.8 %), as Equation 1 shows. As observed, the number of following vehicles increases as the one-way traffic volume increases. The statistics are summarized on Table 3.

$$FV = \exp (1.35206+0.0277104*V_p) \tag{1}$$

Where: FV is the number of following vehicles in a 15-minute period (veh/h) and  $V_p$  is the one-way traffic volume for a 15-minute period (veh/h).

**TABLE 3 Poisson regression analysis for following vehicles**

Poisson Regression Analysis				Deviance Analysis			
Parameter	Estimate	Standard error	Estimated rate ratio	Source	Deviance	DF	P-Value
CONSTANT	1.35206	0.0278301		Model	4624,99	1	0.0000
One way traffic volume	0.027710	0.0003904	1.0281	Residue	697,759	454	0.0000
				Total (Corr.)	5322.75	455	
DF= degrees of freedom; corr. = correlation; $R^2 = 86.9 \%$ ; $R^2$ (adjusted) = 86.8 %							

On the other hand, the percentage of following vehicle was a continuous data set. Probability plot, skewness and kurtosis were carried out to verify if data were distributed as a normal distribution. The results indicated that the variable was normally distributed. As the other assumptions of linear regression analysis were fulfilled, a linear regression model (Table 4) was elaborated for the percentage of following vehicles ( $\alpha = 5\%$ , R-Squared = 64.6 %). It could be observed that the percentage of following vehicles increased as the one-way traffic volume increases (Equation 2).

$$\% FV = 0.119165+0.00461303*V_p \tag{2}$$

Where: % FV is the percentage of following vehicles in a 15-minute period (veh/veh) and  $V_p$  is the one-way traffic volume for a 15-minute period (veh/h).

**TABLE 4 Multiple regression analysis for percentage of following vehicles**

Multiple Regression Analysis					Variance Analysis					
Parameter	Estimate	Standard error	t-statistic	P-value	Source	Squares Sum	DF	mean square	F-Ratio	P-Value
CONSTANT	0.119165	0.00825645	14.433	0.0000	Model	5.27343	1	5.27343	831.83	0.0000
One way traffic volume	0.004613	0.00015994	28.8414	0.0000	Residue	2.87816	454	0.00633		
					Total (Corr.)	8.15159	455			
DF= degrees of freedom; corr. = correlation; $R^2 = 64.69\%$ ; $R^2$ (adjusted) = 64.61 %; standard error of estimate = 0.0796; Average absolute error = 0.0633										

**Passing frequency**

Passing frequency was studied using the absolute number of passes in a 15-minute period in order to compare with other studies. In order to analyze whether the passing frequency among passing zones and traffic volume was equal, parametric and nonparametric tests could be developed. Parametric tests are vastly used and preferred because they are more powerful and are more likely to lead correctly to rejection of a false null hypothesis. However, the variables should be approximate normal. As passing frequencies in a 15-minute period failed to be distributed as a normal distribution, the nonparametric techniques should be considered.

The Kruskal-Wallis test is the nonparametric equivalent to the independent samples single-factor analysis of variance. The test is sensitive to the differences in location (mean or median) between the populations and it is identical to the Mann-Whitney U test for comparing more than two populations. The null hypothesis is that all populations have the same locations (median or mean). Passing frequencies were tested to have the same location considering the passing zone length. The results of the Kruskal-Wallis test (sample  $_{\text{passing zone}} = 114$ ; D-statistic = 105.681; p-value  $_{\text{D-statistic}} = 0.0000$ ) indicated statistical differences among values of passing frequencies at a 95% level of confidence. The same test was performed based on the traffic volume on the four passing zones. The results of the Kruskal-Wallis test (sample  $_{\text{traffic volume intervals}} = [10, 166]$ ; D-statistic = 130.386; p-value  $_{\text{D-statistic}} = 0.0000$ ) also indicated that the different traffic volume produced statistically significant differences on the passing frequency.

As the passing frequency had statistically significant differences depending on the passing zone length and the two-way traffic volume, a regression analysis was carried out. Given that the passes are nonnegative integer values, the variable was modeled as a Poisson regression model. The assumptions of the model (non-truncated data, same mean and variance, and non-preponderance of zeros) were fulfilled. The best fit of Poisson regression model (Table 5) is shown in Equation 3 ( $\alpha = 5\%$ ,  $R_p$ -Squared = 62.1 %).

$$PF = \exp (-4.57904 - 0.00125 * V_p^2 - 0.0000013 * L^2 + 2.75645 * P + 0.04093 * V_p + 0.003455 * L) \quad (3)$$

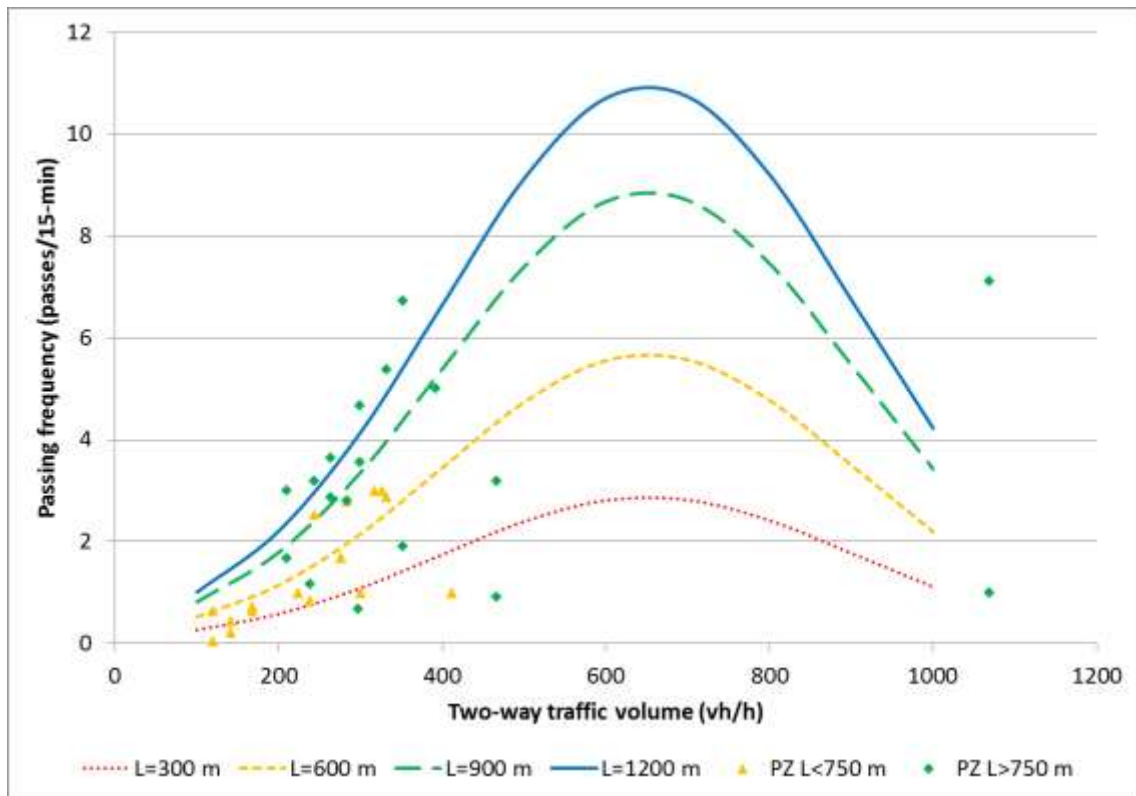
1           Where: PF is the passing frequency on the travel direction in a 15-minute period (passes/h);  
 2 Vp is the two-way traffic volume for a 15-minute period (veh/h); L is the length of the passing zone  
 3 (m); and P is the traffic proportion on the travel direction.  
 4

5 **TABLE 5 Poisson regression analysis for passing frequency**

Poisson Regression Analysis				Deviance Analysis			
Parameter	Estimate	Standard error	Estimated rate ratio	Source	Deviance	DF	P-Value
CONSTANT	-4.57904	0.327803		Model	1052.11	5	0.0000
Two-way traffic volume <sup>2</sup>	-0.000125	0.000011536	0.999874	Residue	641.783	450	0.0000
Length <sup>2</sup>	-0.0000013	3.01931E-7	0.999999	Total (Corr.)	1693.89	455	
Traffic proportion	2.75645	0.37668	15.7438				
Two-way traffic volume	0.04093	0.00284811	1.04178				
Length	0.003455	0.000491578	1.00346				
DF= degrees of freedom; corr. = correlation; R <sup>2</sup> = 62.1 %; R <sup>2</sup> (adjusted) = 61.4 %							

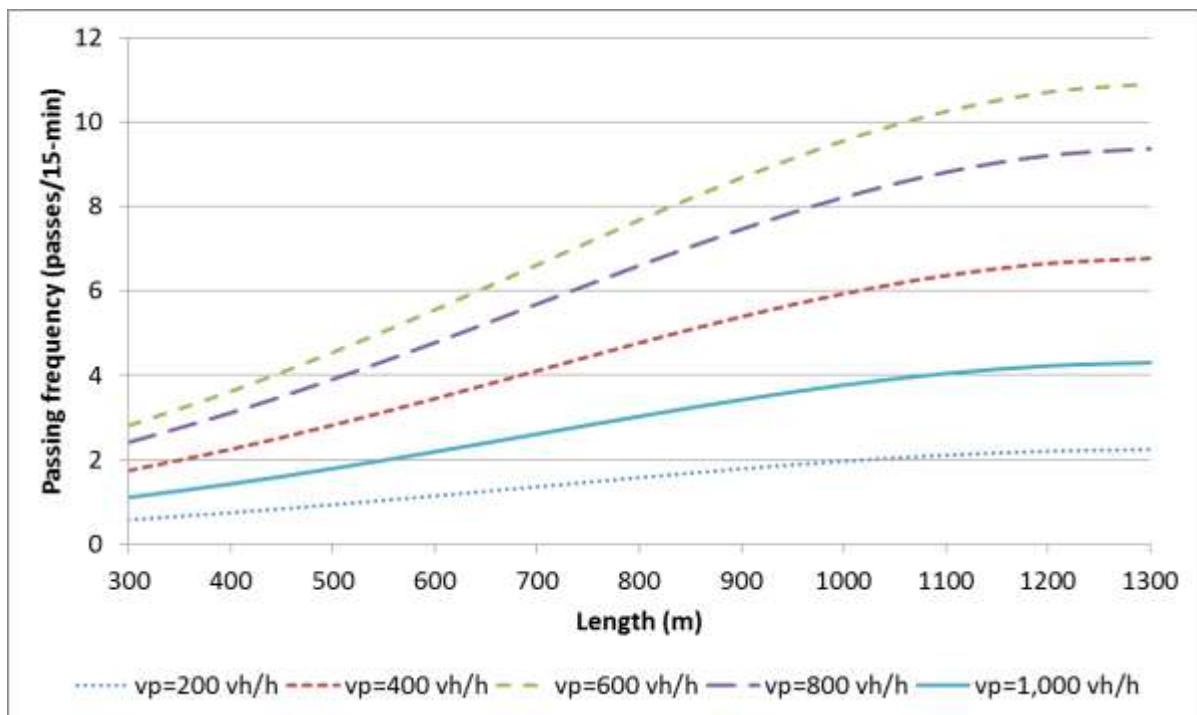
6  
 7           Figures 2 and 3 were generated applying Equation 3 varying: traffic volume and passing zone  
 8 length. Traffic proportion was assumed 50/50 (P = 0.5). Two-way traffic volume in vehicles per hour  
 9 was represented to facilitate the analysis and it was calculated multiplying by 4 the traffic volume for  
 10 a 15-minute period. Moreover, passing frequencies from other 12 passing zones were plotted in two  
 11 series considering their length (lower than 750 m and higher than 750 m). As traffic flow influenced  
 12 the passing maneuver, three traffic flow levels were separated for each passing zone. The levels had  
 13 similar sample and number of passing maneuvers. Therefore, the behavior was more homogeneous  
 14 within the same level. Average traffic flow and average number of passes were calculated and plotted.

15           As seen in Figure 2, the longer the passing zone, the higher passing frequency in a 15-minute  
 16 period. This influence depends on the traffic volume, as dispersion varies. On the other hand, there is  
 17 an optimum traffic volume that maximizes the number of passes. The optimum two-way traffic  
 18 volume is between 600 and 700 vh/h for all the passing zones. From that value, the number of passes  
 19 decreases as the gaps on the opposing stream are shorter.  
 20



1  
2 **FIGURE 2 Traffic volume influence on passing frequency for balanced flows.**

3  
4 The model was validated with data from other twelve passing zones that were not introduced  
5 on the model. A good adjustment of the data to the model was found. However, passing frequencies  
6 of the CV-25 passing zones were different than the predicted because the traffic proportion in those  
7 highways was highly directional (between 90/10 and 70/30) and much higher than on the four passing  
8 zones of the model. Equation 3 was applied with CV-25 traffic proportion and the prediction was  
9 much more accurate.



10  
11 **FIGURE 3 Passing zone length influence on passing frequency for balanced flows.**

1  
2 The effect of passing zone length on passing frequency is represented on Figure 3: the longer  
3 passing zone, the higher passing frequency. The increase rate of passing frequency is almost linear  
4 until 1,100 m. The increase rate also depended on traffic volume: the most favorable traffic volume  
5 was 600 veh/h, because increasing 200 m the passing zone would increase 1.9 passes/15 min the  
6 passing frequency. The same increasing of 200 m would generate an increase of 0.8, 1.2, 1.6 and 0.4  
7 passes/15 min with traffic volumes of 200, 400, 800 and 1,000 veh/h, respectively. From 1,100 m  
8 long, the increase rate is stabilized. Consequently, not the double of passing zone length may result in  
9 the double of passes, given traffic volume and traffic proportion. This could be explained because all  
10 drivers willing to pass would have already performed the maneuver. Thereafter, the length of the  
11 passing zones along the highway may be considered instead of the proportion of highway without  
12 passing zones because the increase on passing frequency due to passing zone length has lower  
13 effectiveness from passing zones longer than 1,100 m.

### 14 15 **Passing rate**

16 Effectiveness of passing zones was studied depending on the absolute number of passes. However,  
17 this variable could not fully represent the phenomenon because not every vehicle in one passing zone  
18 is willing to pass. Consequently, passing rate was defined. The passing rate (PR) is the ratio between  
19 the number of passes in a 15-minute period and the percentage of following vehicles in that same  
20 period. This concept is equivalent to the overtaking ratio defined by Morrall and Werner (18).

21 Passing rates were tested to be distributed as a normal distribution. The normality plot, as well  
22 as the kurtosis and skewness indicated that passing rates were not normally distributed. Consequently,  
23 the variable was transformed to the square root of the passing rate ( $PR^{0.5}$ ), which was normally  
24 distributed and usual statistic tests could be applied.

25 An ANOVA test was carried out to identify the influence variables on passing rate. The  
26 assumptions of the ANOVA test were fulfilled. The results indicated that the average values were  
27 statistically different among passing zones (F-statistic = 45.74; dg = 455; p-value  $F_{\text{-statistic}} = 0.0000$ ;  $\alpha =$   
28 5%).

29 As the assumptions of the multiple regression analysis were fulfilled, a forward-selection  
30 multiple regression analysis was performed to determine the variables that influenced on passing  
31 rates. The best fit regression model (Table 6) is presented in Equation 4 ( $\alpha = 5\%$ ,  $r^2_{\text{adj}} = 40.5\%$ ). The  
32 adjusted R-Square was lower than the passing frequency model. It could be possible that not all  
33 vehicles inside a platoon are willing to pass. Consequently, passing rates have more variability than  
34 passing frequencies.

$$35 \quad 36 \quad PR^{0.5} = 0.638004 + 0.000228171 * L - 0.297747 * P - 0.00174589 * v_p \quad (4)$$

37  
38 Where: PR is the passing rate on the travel direction in a 15-minute period (passes/following  
39 vehicle/15 min);  $V_p$  is the two-way traffic volume for a 15-minute period (veh/15 min); L is the  
40 length of the passing zone (m); and P is the traffic proportion on the travel direction.

41  
42  
43  
44  
45  
46  
47



1  
2

**TABLE 6 Multiple regression analysis for passing rate**

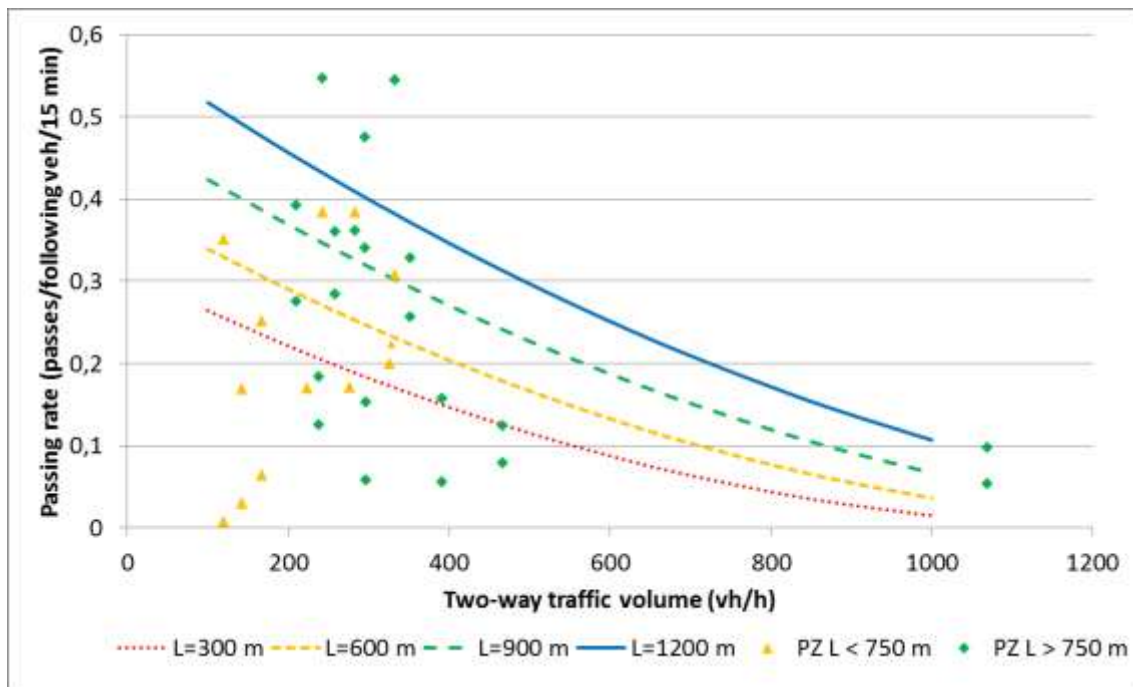
Multiple Regression Analysis					Variance Analysis					
Parameter	Estimate	Standard error	t-statistic	P-value	Source	Squares Sum	DF	mean square	F-Ratio	P-Value
CONSTANT	0.638004	0.0653792	9.75852	0.0000	Model	5.94418	3	1.98139	86.26	0.0000
Length	0.000228	0.00001956	11.6619	0.0000	Residue	8.54465	372	0.02296		
Two-way traffic volume	-0.001745	0.00017091	-10.2149	0.0000	Total (Corr.)	14.4888	375			
Traffic proportion	-0.297747	0.113547	-2.62224	0.0091						

DF= degrees of freedom; corr. = correlation;  
 $R^2 = 41.0\%$ ;  $R^2$  (adjusted) = 40.5 %; standard error of estimate = 0.1515; Average absolute error = 0.1160

3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14

As seen, the longer the passing zone, the higher passing rate. On the other hand, favorable traffic proportion resulted in higher passing rates. However, traffic volume was not statistically significant. It could be explained as the number of following vehicles is correlated with the traffic volume.

The influence of traffic volume and passing zone length on passing rate is shown in Figure 4. It was generated applying Equation 4 varying traffic volume and passing zone length. Similar to Figures 2 and 3, traffic proportion was assumed 50/50 (P=0.5) and two-way traffic volume in vehicles per hour was represented to facilitate the analysis. It was calculated multiplying by 4 the traffic volume for a 15-minute period. Passing rates from the other 12 passing zones were also plotted with the same criteria.



15  
16  
17  
18  
19

**FIGURE 4 Traffic volume influence on passing rate for balanced flows.**

The number of completed passes per following vehicle increases as the traffic volume decreases and the passing zone length increases. With short passing zones, only 26% of following

1 vehicles can perform the maneuver even though traffic volume is quite low (200 veh/h) and passing  
2 gaps are available. For the same traffic volume, passing zones of 1,200 m increase the percentage of  
3 following vehicles that pass to 52%. The results are consistent for all traffic volumes. However, the  
4 decrease rate is higher on longer passing zones as increasing 200 veh/h the two-way traffic flow  
5 would reduce the percentage of following drivers that pass in 10%, 8%, 8% and 6% for passing zones  
6 length of 1,200, 900, 600 and 300 m, respectively. On the other hand, an optimum traffic volume that  
7 maximizes passing rate was not found because even though the number of passes was higher with  
8 traffic volumes between 600 and 700 veh/h, the following vehicles were also higher. Consequently,  
9 the percentage of following vehicles that passed always decreases with traffic volume.

10 Figure 4 could be used twofold. The first option is to calculate the passing zone length needed  
11 to provide a certain passing rate given the traffic volume of the highway. The second option is to  
12 evaluate until which traffic volume of the highway a certain passing rate could be guaranteed given  
13 the passing zone length. So, the model could be used to determine the minimum passing zone length  
14 or maximum traffic volume that provides a determinate passing rate.

15 Adjustment of validation data to the model was lower on passing rates than on passing  
16 frequency due to their higher dispersion. However, it can be observed that longer passing zones  
17 presented higher passing rates. Consequently, passing rate variability may be too high to consider this  
18 variable even though the better representation of the phenomenon.

## 20 DISCUSSION

21  
22 The Highway Capacity Manual (3) includes passing zones effect on two-lane highways traffic  
23 operation on both ATS (average travel speed) and PTSF (percentage time spent following). ATS is  
24 affected by the adjustment for percentage of no-passing zones: ATS is reduced is the percentage of  
25 no-passing zones increases. Given a highway segment length, more passing zone length along the  
26 highway would lead to higher ATS. Consequently, it assumes that the improvement on traffic  
27 operation of passing zones is equal regardless their length: one passing zone of 1,500 m would have  
28 the same effects on traffic operation than two passing zones of 750 m. However, the developed model  
29 indicated that even though passing frequency increases as the length of the passing zone increases, the  
30 increase rate is much lower from 1,100 m passing zone length. Consequently, two passing zones of  
31 750 m would produce more passes and ATS would be higher than on a single passing zone of 1,500  
32 m. Thereafter, the percentage of no-passing zones would not reliably represent effectiveness of  
33 passing zones. Effectiveness of every single passing zone should be considered instead.

34 Furthermore, the adjustment also depends on the flow rate for peak 15-min period. Given a  
35 percentage of no-passing zones, reduction in ATS is maximum for two-way demand flow ( $v_p$ ) of 400  
36 veh/h, and its influence is stabilized for  $v_p$  higher than 1,800 veh/h or more. The proposed model  
37 indicates that passing frequency is optimized for traffic volumes between 600 and 700 veh/h.  
38 Consequently, reduction in ATS should be minimized on that range. Moreover, if traffic volume was  
39 higher than 800 veh/h passing frequency was highly reduced. So, the adjustment factor should be  
40 reduced for traffic flows of 600 and 800 veh/h and then increased for higher traffic flows.

41 On the other hand, PTSF is adjusted by the combined effect of the directional distribution of  
42 traffic and of the percentage of no-passing zones. The adjustment depends on percentage of no-  
43 passing zones, two-way flow rate and traffic proportion. An increase on no-passing zone percentage  
44 would result in higher PTSF and worse level of service. Similarly to the previous discussion,  
45 effectiveness of every passing zone should be considered instead the percentage of no-passing zones.  
46 Besides, increase in PTSF is maximum for two-way flow rate of 400 veh/h on balanced flows.  
47 Nevertheless, the obtained model does not represent the same behavior. Thereafter, the adjustment

1 factor should be reduced for traffic flows of 600 and 800 veh/h and then increased for higher traffic  
2 flows. Traffic proportion should also be considered. However, its effect is lower than other variables.

3 Conversely, the passing rate model was compared with the overtaking ratios proposed by  
4 Morrall and Werner (18). Both parameters decreased with two-way traffic volume. However, their  
5 maximum expected passing rate was 85%, compared to the 52% of the proposed model. The main  
6 reason for this difference is the passing behavior. Morrall and Werner used a traffic simulation model  
7 where drivers will to pass if their desired speed was lower than the impeding vehicle. However, some  
8 drivers adapt their speed to the previous vehicle and accept that delay on their trip: these drivers  
9 would not perform a passing maneuver. Consequently, the number of passes with low traffic volume  
10 decreases, and the maximum passing rate is lower. Besides, the effect of two-way traffic volume was  
11 higher on their simulations than on the model, as the expected passing rate decreased from 85 to 10 %  
12 at a traffic volume of 800 veh/h. Furthermore, the minimum passing rate was stabilized at 2 %. The  
13 higher decrease rate is also explained because of the passing behavior on the traffic simulation model.  
14 However, Morrall and Werner presented the percentage of no-passing zones instead of single passing  
15 zones. So, their values cannot be directly compared with the model.

16 Finally, the results were compared with Romana's study (1). Overall passing rates were  
17 presented for a whole highway segment including no-passing zones instead of single passing zones.  
18 Consequently, no comparison was possible without further data. However, his data showed a  
19 maximum passing frequency for a balanced two-way traffic flow between 500 and 800 veh/h. This  
20 optimum value is similar to the one given on the model, which is located between 600 and 700 veh/h.

## 21 22 **CONCLUSIONS**

23  
24 Passing maneuvers have been deeply studied in highway engineering to determine criteria to establish  
25 no-passing zones, as many of the studies are focused on the maneuver itself and how is performed on  
26 different conditions. However, the interaction between vehicles traveling in the same and in opposing  
27 lanes affects traffic operations. Most of the studies are focused on percentage of following vehicles or  
28 the adjustment of the HCM procedure to local data. However, these variables are influenced by the  
29 effectiveness of passing zones and how they could reduce the number of following vehicles. In fact,  
30 only a few studies on the expected number of passes on a highway considering the percentage of no-  
31 passing zones have been carried out.

32 This research presented an analysis of the effectiveness of passing zones considering their  
33 length and traffic volume. Four passing zones located on the same rural highway in Spain were  
34 selected. They presented two-way traffic volumes between 120 and 900 veh/h; and lengths between  
35 265 and 1,270 m. More than 1,600 passing maneuvers were recorded during the 53 hours of  
36 observation on the scenarios.

37 Passing frequency and passing rate were selected as passing zone effectiveness measures.  
38 Passing frequency is defined as the number of passes per 15-minute observation period. The count  
39 data were modeled following a Poisson regression model. The results indicated that the longer the  
40 passing zone, the higher number of passes in the period. However, the improvement on passing  
41 frequency is more stable from passing zone lengths longer than 1,100 m. From that length, the  
42 effectiveness of the passing zones decreases because the drivers willing to pass would perform the  
43 maneuver with shorter passing zones and the increase would only affect to very conservative drivers  
44 that need much longer gaps on the opposing stream. On the other hand, balanced flows with two-way  
45 traffic volumes between 600 and 700 veh/h optimized the number of passes. This result was  
46 consistent for all lengths and suggested that passing is more effective for that traffic conditions.

47 Even though passing frequency quantifies the number of passes in a passing zone, this  
48 measure is not enough to fully represent the phenomenon: passing maneuvers need a faster vehicle

1 impeded by a lower vehicle; so, not every vehicle that enters a passing zone is willing to pass.  
2 Consequently, passing rate was defined as the number of passes per following vehicle per 15-minute  
3 observation period. Passing rate decreased as traffic volume increased, for all passing zones. So, the  
4 increase in the passing frequency with the traffic volume is lower than the increase of following  
5 vehicles. Besides, the model predicted that the maximum percentage of drivers that follow a vehicle  
6 and could perform a passing maneuver was 52 %; with two-way traffic volume of 200 veh/h and  
7 passing zone length of 1,200 m. The model could be used to determine the minimum passing zone  
8 length or maximum traffic volume that provides a determinate passing rate.

9 The passing frequency and passing rate models were validated with data from other twelve  
10 additional passing zones. The additional scenarios presented different traffic volumes and lengths. 377  
11 passes were observed on the validation scenarios during more than 46 hours. The passing frequency  
12 model was accurately adjusted to the additional data while the passing rates presented the same trends  
13 but with higher dispersion. Thereafter, even though this variable better represents the phenomenon, its  
14 variability may be too high for consideration.

15 The results were compared with the 2010 Highway Capacity Manual analysis procedure for  
16 two-lane highways. Adjustments on average travel speed and percentage time spent following based  
17 on percentage of no-passing zones do not reliably represent effectiveness of passing zones.  
18 Effectiveness of every passing zone should be considered instead.

19 Finally, the paper presented a new approach to two-lane highway traffic performance based  
20 on the effectiveness of passing zones. General conclusions on passing zones effectiveness were given.  
21 Further research will be carried out to reduce more data such as vehicles' speeds. The results could be  
22 used to calibrate a traffic simulation model on two-lane highways in order to generate new highway  
23 scenarios and propose reliable thresholds on traffic operation quality.

## 24 25 **ACKNOWLEDGEMENTS**

26  
27 Authors would like to thank Spanish Ministry of Science and Innovation that subsidizes the research  
28 project with reference code TRA2010-21736, and Spanish Ministry of Public Works, for its  
29 collaboration during the field study.

## 30 31 **REFERENCES**

- 32  
33 1. Romana, M. G. Passing Activity on Two-Lane Highways in Spain, *Transportation Research*  
34 *Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1678, 1999, pp.90-95.
- 35 2. Molinero, A., E.Carter, C. Naing, M.C. Simon and T. Hermitte. Part I. Overview and general  
36 statistics, Accident causation and pre-accidental driving situations (TRACE – Traffic  
37 Accident Causation in Europe Internal Report), 2008.
- 38 3. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual, 2010.
- 39 4. Al-Kaisy, A. and Z. Freedman. Estimating Performance on Two-Lane Highways: Case Study  
40 Validation of a New Methodology, *Transportation Research Record*, No. 2173, 2010, pp.72-  
41 79.
- 42 5. Al-Kaisy, A. and S. Karjala. Car-following interaction and the definition of free-moving  
43 vehicles on two-lane rural highways, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 136, No.  
44 10, 2010, pp.925-931.
- 45 6. Al-Kaisy, A. and C. Durbin. Platooning on two-lane two-way highways: an empirical  
46 investigation, *Procedia and Behavioral Sciences*, No. 16, 2011, pp. 329-339.
- 47 7. Gattis, J.L., M.S. Alguirre, K. Townsend and S. Rao. Rural two-lane passing headways and  
48 platooning. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*,  
49 No. 1579, 1997, pp. 27-34.

- 1 8. Dixon, M.P., S.S. Sarepali and K.A. Young. Field evaluation of highway capacity manual  
2 2000 analysis procedures for two-lane highways. *Transportation Research Record: Journal of*  
3 *the Transportation Research Board*, No. 1802, 2002, pp. 125-132.
- 4 9. Polus, A. and M. Cohen. Theoretical and empirical relationships for the quality of flow and  
5 for a new level of service on two-lane highways. *Journal of Transportation Engineering*, Vol  
6 135, No. 6, 2009, pp. 380-385.
- 7 10. Rozenshtein, S., A. Polus and M. Cohen. Models for estimating drivers following on two-lane  
8 rural highways, presented at Transportation Research Board 91st Annual Meeting, 2012,  
9 Washington D.C.
- 10 11. Al-Kaisy, A. and C. Durbin. Evaluating new methodologies for estimating performance on  
11 two-lane highways. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 35, 2008, pp.777-785.
- 12 12. Luttinen, T. Level of service on Finnish two-lane highways. Transportation Research Circular  
13 E-C018: 4<sup>th</sup> International Symposium on Highway Capacity, 2000, Hawaii.
- 14 13. Romana, M. and M. López. Estimación del porcentaje de vehículos demorados en función de  
15 las variables de la circulación en carreteras convencionales de doble sentido. *Revista de*  
16 *Obras Públicas*, Vol. 3359, 1996, pp.85-93.
- 17 14. Romana, M. Evaluación práctica de niveles de servicio de carreteras convencionales de dos  
18 carriles en España. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1997, Madrid.
- 19 15. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual, 1985.
- 20 16. Messer, C.J. Two lane, two way rural highway capacity. Final report. National Cooperative  
21 Highway Research Board. 1983.
- 22 17. Luttinen, T. Uncertainty in the Operational Analysis of Two-lane Highways. TL Consulting  
23 Engineers, 2001.
- 24 18. Morrall, J. and A. Werner. Measuring level of service of two-lane highways by overtakings.  
25 *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1287,  
26 1990, pp. 62-69.
- 27 19. Llorca, C and A. García. Evaluation of Passing Process on Two-lane Rural Roads in Spain  
28 using a New Methodology Based on Video Data, *Transportation Research Record: Journal*  
29 *of the Transportation Research Board*, No. 2262, 2011, pp. 42-51.

# Field Evaluation of Traffic Performance Measures for Two-Lane Highways in Spain

Corresponding Author:

**Ana Tsui Moreno**

Ph.D. Candidate

Highway Engineering Research Group, Universitat Politècnica de València

Camino de Vera, s/n. 46022 – Valencia. Spain

Tel: (34) 96 3877374, Fax: (34) 96 3877379

E-mail: [anmoch@cam.upv.es](mailto:anmoch@cam.upv.es)

Other Authors:

**Carlos Llorca**

Ph.D. Candidate

Highway Engineering Research Group, Universitat Politècnica de València

Camino de Vera, s/n. 46022 – Valencia. Spain

Tel: (34) 96 3877374, Fax: (34) 96 3877379

E-mail: [carlologa@cam.upv.es](mailto:carlologa@cam.upv.es)

**Tarek Sayed**

Professor

Dept. of Civil Engineering, University of British Columbia

Vancouver, BC, Canada V6T 1Z4

Tel: (1) 604 822 4379

E-mail: [tsayed@civil.ubc.ca](mailto:tsayed@civil.ubc.ca)

**Alfredo García**

Professor

Highway Engineering Research Group, Universitat Politècnica de València

Camino de Vera, s/n. 46022 – Valencia. Spain

Tel: (34) 96 3877374, Fax: (34) 96 3877379

E-mail: [agarciag@tra.upv.es](mailto:agarciag@tra.upv.es)

Submission date: 31<sup>st</sup> July 2013

Word count:

Abstract: 292

Manuscript: 5,029

Figures: 4 x 250 = 1,000

Tables: 3 x 250 = 750

References: 28

Total: 7,071

**Key words:** Traffic operation, two-lane highway, time spent following, follower density, traffic intensity.

48 **ABSTRACT**

49

50 Two-lane highways operation has been extensively studied. Many of these studies state that the  
51 current Highway Capacity Manual (HCM) procedure is difficult to measure in the field. Several  
52 promising alternative measures have been proposed which are easy to measure in field, such as the  
53 follower density, percent impeded or freedom of flow. Nevertheless, some of these measures are  
54 based on hypotheses that may only be applicable to local driver behavior. Moreover, none of the field  
55 studies has compared the correlation between all the proposed performance measures and traffic  
56 variables. The present field study calibrates and evaluates ten performance measures in Spanish two-  
57 lane highways.

58 The data was collected using video recordings in 10 sites on two-lane rural highways in  
59 Spain. Observed two-way traffic volumes ranged from 120 to 1,000 veh/h and traffic flows were  
60 mainly balanced. From this data, time headways, average travel speed and platooning variables were  
61 calculated. The studied performance measures included: average travel speed; average travel speed of  
62 passenger cars; percent free-flow speed; percent free-flow speed of passenger cars; percent followers;  
63 follower density; percent impeded; average platoon length; traffic intensity; and, freedom of flow.

64 The results indicated that the follower density had the strongest correlation with traffic  
65 variables, with a coefficient of determination of 94 %. The estimations were compared with previous  
66 models and they were alike within their observation range. The second best performance measure was  
67 the percent followers and the estimates were very similar to the models in Finland. The 2010 HCM  
68 overestimated the percent followers at low traffic flows, which could indicate that the extrapolation of  
69 medium-high traffic volume driver behavior was not too accurate at our observation range. The other  
70 platooning-related variables had lower correlations, while the speed-related measures presented the  
71 weakest correlation with traffic variables.

72

## 73 INTRODUCTION

74

75 Two-lane highways constitute about 70% of all roads in Spain. Their unique characteristics, derived  
76 from the level of interaction between vehicles traveling in the same and in opposing direction, make  
77 the evaluation of their traffic operations a complex process. Currently, the Highway Capacity Manual  
78 (2010 HCM) of the Transportation Research Board (1) is used for the analysis of the operation on  
79 these roads, not only in the US but also in Spain (2).

80 The 2010 HCM provides an analysis procedure for directional segments of two-lane highways  
81 based on the Average Travel Speed (*ATS*) and Percent-Time-Spent-Following (*PTSF*). The level of  
82 service (LOS) for Class I two-lane highways depends on both values, while the LOS for Class II two-  
83 lane highways depends only on *PTSF*. The percentage of followers (*PF*), defined as the percentage of  
84 vehicles with time headways smaller than 3 seconds, may be used as a surrogate measure for the  
85 *PTSF* (1). The Percent of Free-Flow Speed (*PFFS*) is introduced as a performance measure for the  
86 new Class III two-lane highways, following recommendations from Washburn et al. (3).

87 Romana and Perez (4) proposed a threshold speed to determine whether it is more appropriate  
88 to define the level of service based on the *ATS* or on the *PTSF*. However, the threshold speed was  
89 subjective. On the other hand, Luttinen et al. (5) stated that the performance measures should ideally  
90 be easy to measure and estimate and should correlate with the traffic conditions in a meaningful way.  
91 However, the HCM performance measures are difficult to measure in the field (5-10) and some  
92 authors have developed alternative performance measures to overcome this problem which are  
93 discussed below.

94

## 95 LITERATURE REVIEW

96

### 97 Speed-related performance measures

98 The speed-related performance measures include the average travel speed (*ATS*), the average travel  
99 speed of passenger cars (*ATS<sub>PC</sub>*), the percent of free-flow speed (*PFFS*) and the percent of free-flow  
100 speed of passenger cars (*PFFS<sub>PC</sub>*).

101 The *ATS* is the output mean speed and is one of two performance indicators used by the  
102 current HCM and in Brazil (11). However, several researchers indicated that it fails to provide an  
103 accurate indication of traffic performance (8-10). The *ATS<sub>PC</sub>* is used in Germany as a major  
104 performance measure (12) and it replaces the average travel speed in Finland (3, 13), however this  
105 speed-related measure was hardly sensitive to traffic flow in some field studies (8-10). Moreover, they  
106 also reported weak relationships between *ATS*, *ATS<sub>PC</sub>*, and the flow rate ( $r^2$  between 10 and 13%), and  
107 the *PFFS* and *PFFS<sub>PC</sub>* and flow rate ( $r^2$  lower than 1%). 8-second headway criterion was used to  
108 determine free-flow conditions.

109

### 110 Platooning-related performance measures

111 In addition to the percent-time-spent-following (*PTSF*) and the percent followers (*PF*) that are defined  
112 at the 2010 HCM, more performance measures have been defined and calibrated with field data.  
113 These measures are: follower density (*FD*), percent impeded (*PI*), average platoon length (*APL*),  
114 traffic intensity ( $\rho$ ), and freedom of flow ( $\eta$ ).

115 The *PTSF* is the performance measure defined by the HCM, but it is difficult to measure in  
116 the field and the percent followers is used as its surrogate measure. Theoretically, low traffic levels  
117 could still have high percent followers if speed dispersion is relatively high and passing opportunities  
118 are limited; therefore it can be misleading (14). Previous field studies showed good relationship  
119 between the percent followers and the flow rate, with coefficient of determination of 73% (7), 79%



120 (8), 30% (10), 93% (16) and 61% (18). The high difference on the study in Egypt (10) may be caused  
 121 by the low traffic volumes or more specific driving behavior.

122 The follower density (*FD*) is the major performance measure in South Africa (14) and in  
 123 Japanese expressways (15). It is defined as the number of followers per kilometer per lane and is  
 124 calculated as the percent followers multiplied by the traffic flow and divided by the travel speed. It  
 125 showed the best correlation with traffic variables in all the field evaluations (8-10) compared to the  
 126 speed-related measures and the percent followers ( $r^2$  between 75% and 98%). Besides, this measure  
 127 had some degree of correspondence with the analysis of freeways and multilane highways (5, 14).

128 The percent impeded (*PI*) estimates the *PTSF* using a probabilistic approach (7). It is  
 129 calculated by multiplying the probability of being part of a platoon and the probability of being  
 130 impeded. The 3-second headway platoon definition is used to calculate the probability of being part of  
 131 a platoon. The probability of being impeded is calculated at the percentile of the desired speed  
 132 distribution for all the vehicles that is equal to the average speed of slow-moving vehicles. Platoon  
 133 leaders are used as the slow-moving vehicles while the distribution of desired speed is calculated  
 134 using vehicles outside of platoons (6-second headway). This measure presented stronger correlation to  
 135 traffic flow than the percent followers but it was not compared to other platooning measures. In Egypt  
 136 (10), the relationship between percent impeded and flow rate was disperse ( $r^2 = 22\%$ ).

137 The final three performance measures are based on queuing theory (16) and depend on the  
 138 average number of headways inside platoons and between platoons (Equations 1, 2). Platoons are  
 139 identified using 3-second headway. The average platoon length (*APL*) is the number of vehicles  
 140 including the leading vehicle, while the traffic intensity ( $\rho$ ) is the ratio between the average time spent  
 141 in the first position when waiting for an appropriate gap and the average inter-arrival times at the back  
 142 of the queue and it represents how busy the system is. The freedom of flow ( $\eta$ ) is the ratio between the  
 143 average travel time between platoons and the expected value of the time interval between the arrival  
 144 of a fast vehicle into a position behind the slow vehicle and the time when the passing maneuver  
 145 starts; and it reflects an individual driver's undisturbed travel time versus the delay in first position  
 146 resulting from inability to pass. The measures were calibrated to Israel field data (17, 18) and the  
 147 correlation to traffic flow of the freedom of flow was strong ( $r^2 = 93\%$ ) while the traffic intensity  
 148 presented a fair correlation ( $r^2 = 62\%$ ). The theoretical model assumes that (1) all drivers are rational  
 149 and are always willing to pass a slower vehicle and that (2) only the first impeded is performing a  
 150 passing maneuver at one time. This disagrees with actual passing maneuvers field data of other  
 151 countries that reported considerable number of multiple passing maneuvers (19-22) or faster vehicles'  
 152 speed accommodation to the slower vehicle's speed (22, 23).

153

$$\rho = 1 - 1/Q_0 \quad (1)$$

$$\eta = N_0/\rho \quad (2)$$

154

155 Where  $\rho$  = traffic intensity;  $Q_0$  = average number of headways inside platoons;  $\eta$  = freedom  
 156 of flow;  $N_0$  = average number of headways between platoons.

157

### 158 **Passing-related performance measures**

159 The 2010 HCM provides a qualitative definition of the level of service depending on driver  
 160 expectations and perceptions of service, which are influenced by the passing capacity and passing  
 161 demand balance. The passing ratio (or overtaking ratio) was defined by Morral and Werner as the  
 162 number of passes achieved by the number of passes desired (24) and was considered as a possible  
 163 performance measure to be included in the 2000 HCM. However, passing ratio would be complicated  
 164 to measure directly in the field and it was not rated high by HCM users(25).

## 165 **Research Motivation**

166 Two-lane highways operation has been extensively studied. Many studies state that the current HCM  
167 procedure is difficult to measure in field and they propose alternative promising measures which are  
168 easy to measure in field, such as the follower density, percent impeded or freedom of flow. However,  
169 some of the measures are based on hypotheses that may only be applicable to local driver behavior.  
170 Moreover, none of the field studies has compared the correlation between the performance measures  
171 and the traffic variables for the same data set. The present field study calibrates and evaluates all the  
172 defined performance measures using data from Spanish two-lane highways.

173

## 174 **OBJECTIVES AND HYPOTHESES**

175

176 The objective of the paper was to calibrate and evaluate performance measures for two-lane rural  
177 highways in the same data set. The relationships between the performance measures and the traffic  
178 variables were estimated for 10 sites from three Spanish two-lane rural highways.

179 The performance measures include: average travel speed (*ATS*); average travel speed of  
180 passenger cars (*ATS<sub>pc</sub>*); average travel speed as percentage of free-flow speed (*PFFS*); average travel  
181 speed of passenger cars as percentage of free-flow speed of passenger cars (*PFFS<sub>pc</sub>*); percent  
182 followers (*PF*); follower density (*FD*); percentage of vehicle impeded (*PI*); average platoon length  
183 (*APL*); traffic intensity ( $\rho$ ); and freedom of flow ( $\eta$ ). Besides, average travel speed deviation (*ATS<sub>dev</sub>*)  
184 would also be evaluated to confirm the hypothesis of high speed dispersion at low traffic flow.

185 Based on the literature, the following hypotheses were established:

- 186 - Speed-related measures would present weaker relationships with traffic variables compared  
187 to platooning-related measures.
- 188 - Follower density would present the best correlation with traffic variables.
- 189 - Speed dispersion would be higher at low traffic flow.
- 190 - Spanish drivers may behave more aggressively than US drivers. Therefore, the percent of  
191 followers, follower density or percent impeded may be lower.
- 192 - Average platoon length would fail to represent traffic performance because it misinterprets  
193 the actual platoon distribution.
- 194 - Freedom of flow and traffic intensity would not represent accurately traffic performance as  
195 the theoretical hypotheses differ with Spanish driver behavior.

196

## 197 **METHODOLOGY**

198

### 199 **Field study**

200 Data were collected in 10 sites of three highways in the province of Valencia, Spain. The sites were  
201 located at the beginning of passing zones. The highways were classified as Class II two-lane highway,  
202 according to the 2010 HCM, and were selected to cover as much range of passing zone length, traffic  
203 volume and percentage of heavy vehicles as possible. Passing zones' characteristics were included as  
204 selection criteria for another study (23).

205 Data was collected using two coordinated high definition (HD) video cameras located at the  
206 beginning and ending of the passing zones. They were at the roadside and were not perceived by  
207 drivers. At some sites, the whole passing zone was covered with the camera and accepted and rejected  
208 gaps, passing times and time-to-collision could be calculated (26). The sites characteristics are  
209 summarized in Table 1.

210

211

212

213 **Table 1 Sites characteristics**

ID	Highway	Speed limit (km/h)	Annual average daily traffic (veh/day)	Station (km)	Bound	Passing zone length (m)	Two-way traffic volume (veh/h)	Duration (h)	Total direct traffic flow (veh)
1	N-225	100	5,925	5.5	Vall	265	120 – 900	9:30	1,614
2					Teruel	510			1,624
3				6.1	Vall	1,270			1,614
4					Teruel	1,050			1,624
5	CV-405	80	15,342	12.0	Montserrat	895	520 - 1,000	2:30	791
6					Torrent	895			1,073
7	CV-35	100	5,797	46.5	Casinos	1,690	200 – 450	2:50	445
8					Losa	1,860			497
9				42.8	Casinos	780			445
10					Losa	1,135			497
<b>TOTAL</b>								<b>55:20</b>	<b>10,224</b>

214

215 **Data reduction**

216 Traffic volumes, vehicles type, headways and average travel speeds were obtained from the videos.  
 217 The counting period was 5 minutes and the results were aggregated in 15 minutes as the sum of three  
 218 overlapping consecutive 5-minute period in order to skip the error of peak 15-minute period  
 219 overlapped on two 15-minute counting periods (27). Then, equivalent hourly data were calculated  
 220 based on the 15-minute data. The 15-minute period was chosen over hourly period times in order to  
 221 better represent passing maneuvers, as peak traffic volumes and traffic proportion are smoothed on  
 222 hourly periods.

223 To calculate the average travel speed of each vehicle, the travel time between the beginning  
 224 and the end of the passing zone was divided by the passing zone length. Platooning measures  
 225 considered the headways criteria indicated before. To calculate the percent impeded, the average  
 226 speed of slow-moving vehicles and the speed distribution of isolated vehicles were obtained. The  
 227 percentile that corresponds to the average was then multiplied by the percent followers.

228

229 **STATISTICAL ANALYSIS**

230

231 **Preliminary analysis**

232 Preliminary analysis of each variable was carried out in order to obtain the probabilistic distribution  
 233 that best fitted the data. The normal distribution is preferred, as many non-normally distributed  
 234 dependent variables can distort relationships and significance parametric tests (28). If the variable  
 235 failed to be normally distributed, they were transformed to the lognormal or inverse to check their  
 236 normality. The analysis should be carried out by site and across-sites.

237 A total of 240 preliminary analyses were carried out. Two-way traffic flow, direct traffic flow,  
 238 opposing traffic flow and follower density were adjusted as lognormal distributions, while the average  
 239 platoon length and the freedom of flow were inverse distributions and the number of following  
 240 vehicles followed a negative binomial distribution. The remaining variables were normally  
 241 distributed.

242

243 **Statistical differences**

244 Once the variables were adequately described and the outliers were identified and removed from the  
 245 sample, we tested whether the dependent variable was statistically different considering each  
 246 independent variable. As all the variables (or transformed variables) were normal or almost normal,  
 247 the parametric test (ANOVA) could be applied grouping the variables in levels with approximately  
 248 equal sample. The percentage of no passing zones failed to provide statistical differences on most of

249 the platooning variables and the percent of free flow speed, while the average travel speed deviation  
 250 was uniform for all the traffic flows, which disagrees with the theoretical misleading of *PTSF*  
 251 estimation of level of service at low traffic flows (14).

252

### 253 **Simple linear relationships**

254 Simple linear relationships were tested between the dependent variables and the independent  
 255 variables, one-to-one. Only the statistically significant variables were tested. The analysis of the  
 256 residuals plot allowed verifying the normality of the residuals and the homocedasticity. Consequently,  
 257 the assumptions of the linear regression were fulfilled in all the cases.

258 The platooning measures were more correlated to the traffic variables than the speed-related  
 259 measures as their  $r^2$  varied between 31% and 76% and between 3 and 9%, respectively. On the other  
 260 hand, using the direct traffic flow provided higher correlations than the two way traffic flow ( $r^2$   
 261 increased between 2% and 8%).

262

### 263 **Multiple regression analysis**

264 The last phase of the statistical analysis was the multiple regression. The regression models would be  
 265 trustworthy if the p-value of the F-statistic is lower than 0.05, at a level of confidence of 95%.  
 266 Moreover, the p-value of the F-statistic of each one of the independent variables must be lower than  
 267 0.05. Considering the previous analysis, all the assumptions would be fulfilled and the regression  
 268 models would be valid. The multiple regression analysis was carried out considering two approaches:  
 269 directional traffic flows and two-way traffic flows; so the results can be compared and discussed with  
 270 previous research.

271

### 272 **Directional analysis**

273 The directional analysis considers as independent variables the direct traffic flow, opposing traffic  
 274 flow, percentage of trucks and percentage of no-passing zones in the analysis segment travel  
 275 direction. The multiple regression models were fitted using forward stepwise selection. Table 2 shows  
 276 the equations obtained from the multiple regression analyses.

277

278 **Table 2. Directional analysis multiple regression models**

Variable	Equation	R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (%)
ATS <sub>100</sub>	$ATS_{100} = 129.265 - 6.03 \cdot \ln(Vd) - 0.314 \cdot \%HG V$	16.54	16.14
ATS <sub>80</sub>	$ATS_{80} = 87.644 - 2.606 \cdot \ln(Vd)$	9.19	7.48
ATSpc <sub>100</sub>	$ATSpc_{100} = 140.12 - 8.555 \cdot \ln(Vd) - 0.288 \cdot \%HG V$	16.62	16.22
ATSpc <sub>80</sub>	$ATSpc_{80} = 89.295 - 2.912 \cdot \ln(Vd)$	10.22	8.56
PFFS	$PFFS = 1.233 - 0.056 \cdot \ln(Vd) - 0.002 \cdot \%HG V$	18.36	18.01
PFFSpc	$PFFSpc = 1.113 - 0.030 \cdot \ln(Vd) + 0.001 \cdot \%HG V$	34.12	34.84
FV	$FV = \exp(-3.0834 + 1.5308 \cdot \ln(Vd) - 0.0051 \cdot \%HG V)$	96.61	96.30
PF	$PF = -60.6933 + 24.4293 \cdot \ln(Vd)$	62.65	62.57
FD	$\ln(FD) = -9.5670 + 1.9610 \cdot \ln(Vd) + 0.0051 \cdot \%HG V$	85.72	85.65
	$FD = -0.2083 + 0.0080 \cdot Vd - 0.0003 \cdot Vo + 0.0012 \cdot \%HG V$	94.84	94.81
PI	$PI = -36.728 + 15.7086 \cdot \ln(Vd) - 0.1123 \cdot \%HG V$	58.99	58.73
APL	$\frac{1}{APL} = 0.663 - 0.093 \ln(Vd) + 0.001 \cdot \%NPZ$	36.00	35.73
ρ	$\rho = -0.117 + 0.174 \cdot \ln(Vd) - 0.002 \cdot \%HG V - 0.003 \cdot \%NPZ$	33.80	33.34
μ	$1/\mu = -0.325 + 0.145 \cdot \ln(Vd) - 0.002 \cdot \%NPZ$	49.90	49.67

279

280 Where:

- 281 -  $ATS_{100}$  = average travel speed at highways with 100 km/h speed limit (km/h);  
 282 -  $ATS_{80}$  = average travel speed at highways with 80 km/h speed limit (km/h);  
 283 -  $ATSpc_{100}$  = average travel speed of passenger cars at highways with 100 km/h speed limit  
 284 (km/h);

- 285 -  $ATSpc_{80}$  = average travel speed of passenger cars at highways with 80 km/h speed limit
- 286 (km/h);
- 287 -  $PFFS$  = percent of free-flow speed;
- 288 -  $PFFS_{pc}$  = percent of free-flow speed of passenger cars;
- 289 -  $FV$  = followers per period (followers/15-min);
- 290 -  $PF$  = percent followers per period (followers/veh/15-min);
- 291 -  $FD$  = follower density per period (veh/km/15-min);
- 292 -  $PI$  = percent impeded (%/15-min);
- 293 -  $\rho$  = traffic intensity;
- 294 -  $\mu$  = freedom of flow;
- 295 -  $Vd$  = traffic volume on the direction of analysis (veh/15-min);
- 296 -  $Vo$  = traffic volume on the opposing direction (veh/15-min);
- 297 -  $\% HGV$  = percentage of trucks and recreational vehicles (%);
- 298 -  $\% NPZ$  = percent no passing zones in the analysis segment (%).

299

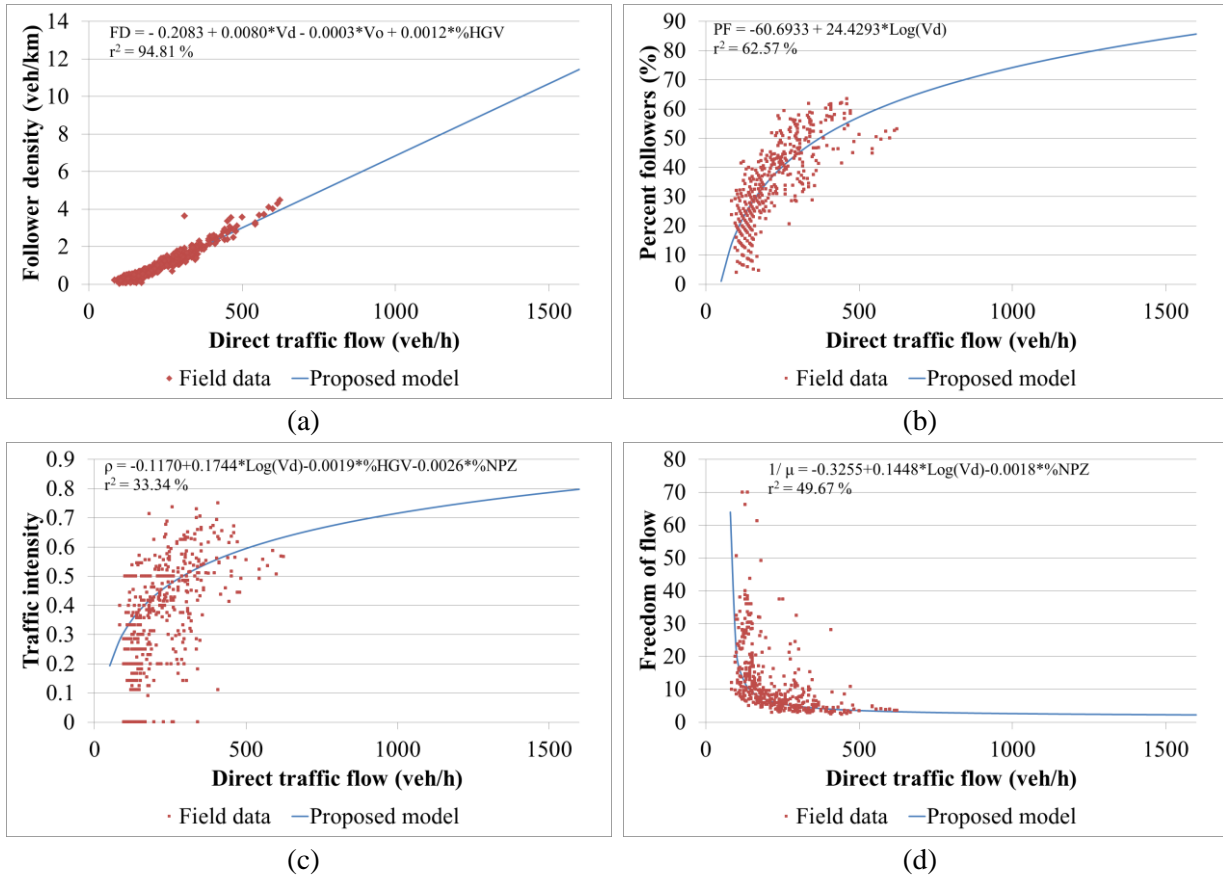
300 The follower density presented the best adjustment to the field data (Figure 1) as the  
 301 coefficient of determination of the models presented 85% and 94%, respectively. The first model was  
 302 conducted for the transformed variable, while the second model was carried out for the original  
 303 variable. The residuals of the model were normally distributed, so the main assumptions of the  
 304 multiple regression analysis were fulfilled and the model was valid. The follower density increased as  
 305 the direct traffic flow and the percentage of trucks increased and the opposing traffic flow decreased,  
 306 which is in agreement with previous models and hypothesis. Based on the simple regression analysis,  
 307 the most influential variable was the direct traffic flow, as expected. The relatively high correlation  
 308 between direct and opposing traffic flow may explain the low increase on the coefficient of  
 309 correlation of the overall model when the opposing traffic flow was added as variable.

310 The percent followers and the percent impeded were the second best group of measures,  
 311 according to the coefficient of determination, 62% and 58%, respectively. Both models did not  
 312 depend on the opposing traffic flow, which could be due to the correlation between direct and  
 313 opposing traffic flow. The deviation of average travel speed was uniform, which is in accordance with  
 314 the low percent followers at very low traffic volume. The percent impeded was supposed to improve  
 315 the correlation to traffic but it failed to provide better results than the percent followers. This measure  
 316 assumes that the slow-moving vehicles are platoon leaders, but the platoon may be headed by a fast  
 317 vehicle followed by another fast vehicle traveling close to its desired speed. Similarly, fast vehicles  
 318 are characterized as vehicles outside platoons, and one truck traveling alone can be identified as a fast  
 319 vehicle even though its speed can be very low. These two hypotheses may influence the accuracy of  
 320 the results, as desired speeds may be lowered and slow-moving average speed may be overestimated.  
 321 The probability of being impeded varied between 33.5% and 83.5%, with an average value of 67%.

322 The third group was composed of Polus and Cohen's measures ( $r^2$  between 34 and 50%). This  
 323 may be caused because the variables were defined based on theoretical models and the assumptions  
 324 were not met in field. For example, 22% of passes were multiple and the models assumed that all  
 325 vehicles in the queue would be willing to pass. Besides, 7.5% of the sample was removed to calculate  
 326 the traffic intensity and the freedom of flow because they had a division by zero. After removing  
 327 those periods from the sample, the freedom of flow presented lower dispersion than the average  
 328 platoon length and traffic intensity. The freedom of flow decreased as the traffic flow increased,  
 329 which meant that the system was busier. The traffic intensity shows similar conclusions.

330

331



332 **Figure 1. Platooning performance measures models adjustment to field data: (a) follower**  
 333 **density; (b) percent followers; (c) traffic intensity; (d) freedom of flow**

334  
 335 The models with lowest coefficient of determination corresponded with the speed-related  
 336 measures, with  $r^2$  between 8 and 16%. The results were better for the highways with speed limit of  
 337 100 km/h, mainly because only two sites with speed limit of 80 km/h were observed and the traffic  
 338 volume range was narrower. Generally, only passenger cars slightly improved the correlation.

339  
 340 **Two-way analysis**

341 The two-way analysis considers as independent variables the two-way traffic flow, traffic proportion,  
 342 percentage of trucks and percentage of no-passing zones.

343  
 344 **Table 3. Two way analysis multiple regression models**

Variable	Equation	R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (%)
ATS <sub>100</sub>	$ATS_{100} = 139.394 - 5.745 \cdot \ln(Vt) - 0.146 \cdot P - 0.308 \cdot \%HGV$	16.68	16.08
ATS <sub>80</sub>	$ATS_{80} = 95.160 - 3.696 \cdot \ln(Vt)$	10.95	9.27
ATSp <sub>100</sub>	$ATSp_{100} = 154.295 - 8.185 \cdot \ln(Vt) - 0.200 \cdot P - 0.279 \cdot \%HGV$	16.61	16.00
PFFS	$PFFS = 1.328 - 0.055 \cdot \ln(Vt) - 0.001 \cdot P - 0.002 \cdot \%HGV$	18.61	18.09
PFFSp	$PFFSp = 1.164 - 0.028 \cdot \ln(Vt) - 0.001 \cdot P - 0.001 \cdot \%HGV$	34.33	33.91
FV	$FV = \exp(-6.066 + 1.581 \cdot \ln(Vt) + 0.032 \cdot P)$	95.81	95.50
PF	$PF = -102.564 + 24.313 \cdot \ln(Vt) + 0.504 \cdot P$	62.71	62.55
Log(FD)	$\ln(FD) = -12.922 + 1.989 \cdot \ln(VT) + 0.037 \cdot P + 0.006 \cdot \%HGV$	85.90	85.81
PI	$PI = -55.572 + 15.616 \cdot \ln(Vt) + 0.352 \cdot P - 0.112 \cdot \%HGV - 0.167 \cdot \%NPZ$	58.99	58.65
1/APL	$\frac{1}{APL} = 0.807 - 0.096 \cdot \ln(Vt) + 0.001 \cdot P - 0.004 \cdot \%NPZ$	36.33	35.92
ρ	$\rho = -0.756 + 0.252 \cdot \ln(Vt) + 0.003 \cdot \%HGV - 0.003 \cdot \%NPZ$	34.83	34.42
1/μ	$\frac{1}{\mu} = -0.607 + 0.151 \cdot \ln(Vt) + 0.003 \cdot P - 0.002 \cdot \%NPZ$	51.38	51.07

346 Where:

347 -  $Vt$  = two-way traffic volume (veh/15-min);

348 -  $P$  = traffic proportion on the direction of analysis (%).

349 The other variables have been previously defined.

350

351 The multiple regression models were fitted using forward stepwise selection, as the directional  
352 analysis. Table 3 shows the equations obtained from the multiple regression analyses. The results  
353 were similar to the directional analysis, in fact, the coefficient of determination were within 1% lower  
354 than the directional analysis, which could indicate that the directional analysis may not be that  
355 relevant.

356

## 357 **DISCUSSION**

358

359 The 10 performance measures models obtained from the statistical analysis were compared to the  
360 2010 HCM estimates and to previous field studies. The field data were used as input data of the  
361 models, and directional or two-way models were selected according to the analysis considered on the  
362 previous studies. The 15-minute period results from the models were converted to equivalent hourly  
363 data. Adequate adjustments for heavy vehicles and grade were used to convert the observed flow rates  
364 to the equivalent base conditions of the 2010 HCM. Then, the HCM estimation procedure was applied  
365 to each period considering the percent of no-passing zones. On the other hand, a comparison between  
366 the directional and the two-way analysis was carried out.

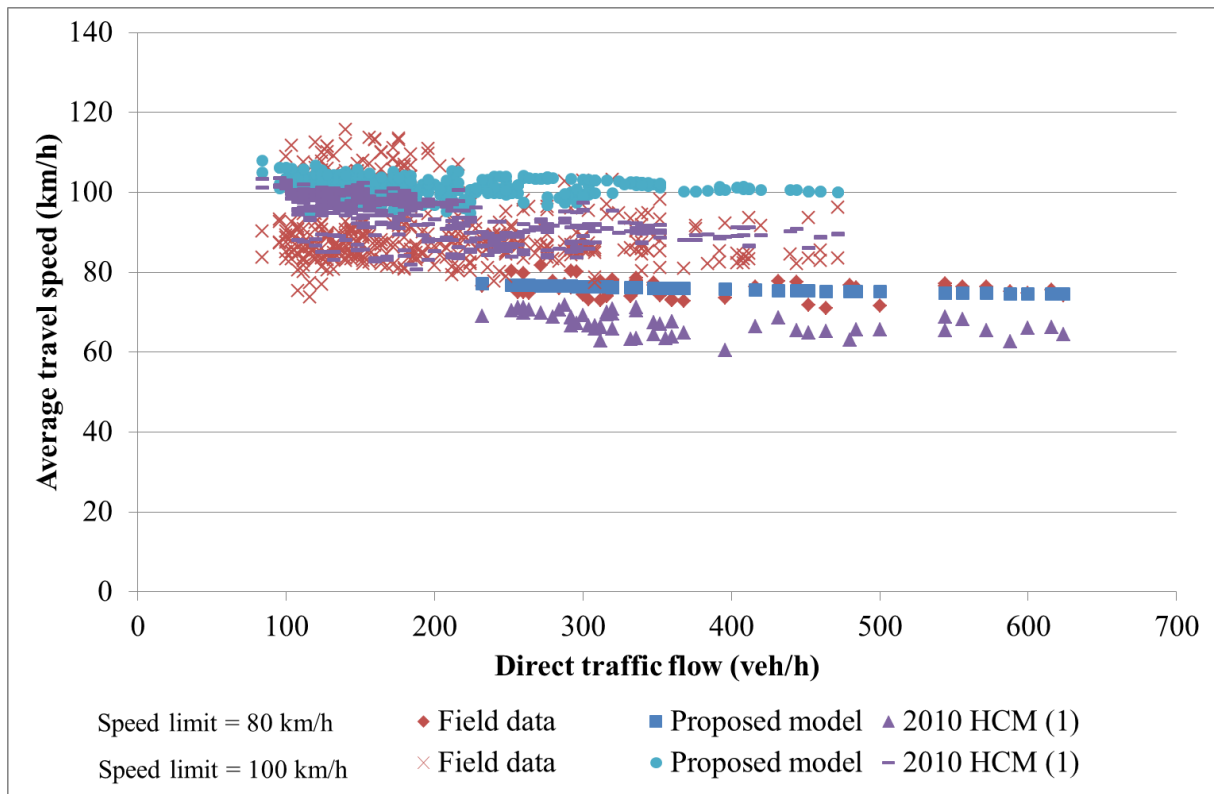
367

### 368 **Speed-related performance measures**

369 The average travel speed was compared to the 2010 HCM ( $I$ ) estimate, as the previous field studies  
370 failed to provide a statistically significant model for the same speed limit highways (Figure 2). The  
371  $ATS$  obtained on field was similar to the HCM estimate in highways with 100 km/h speed limit but the  
372 estimates were 9 km/h lower than the field data for 80 km/h highways. The larger differences may  
373 suggest that the adjustments for no-passing zones for  $ATS$  of 55 mi/h may not be as accurate as the  
374 adjustments for no-passing zones for  $ATS$  equal to 65 mi/h. It can also be observed that the average  
375 travel speed was hardly sensitive to traffic flow, as the reductions on the model were lower than 5  
376 km/h, and that the deviation of average travel speed was almost uniform regardless the traffic flow.

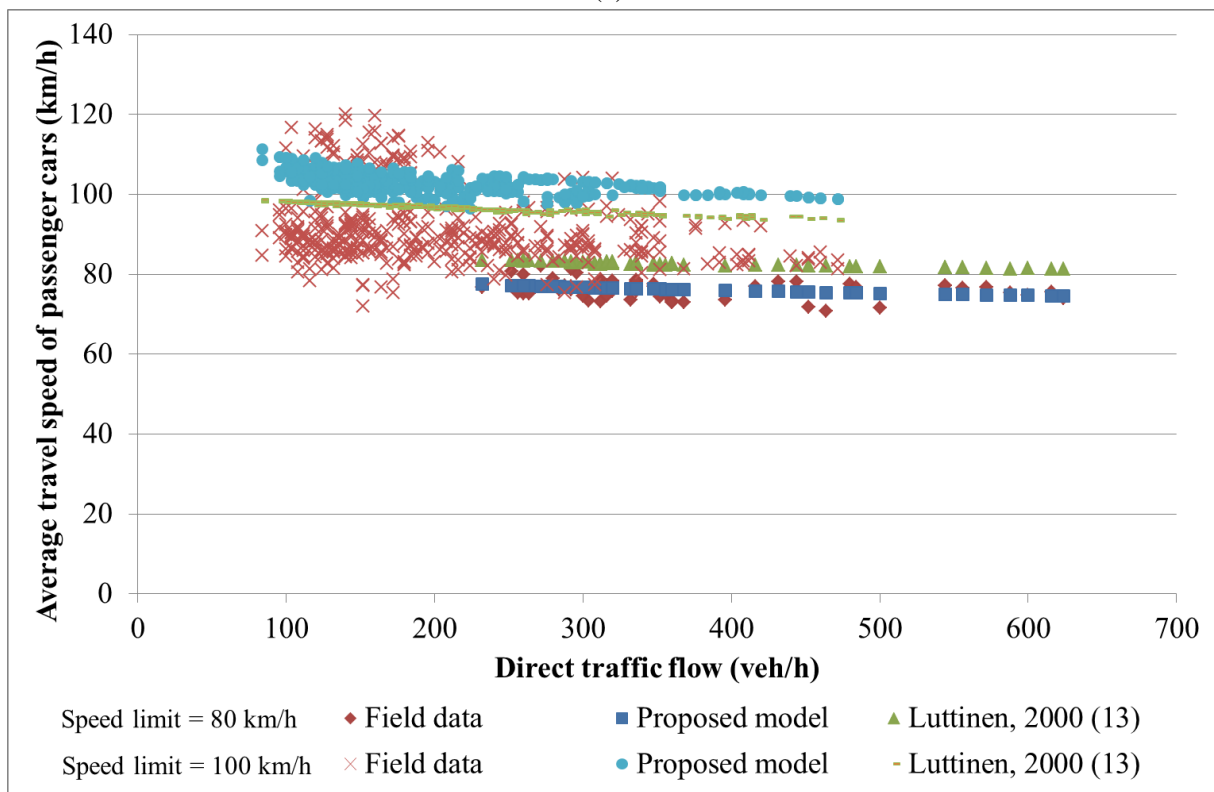
377 The average travel speed of passenger cars was compared to Luttinen's models ( $I3$ )  
378 developed for 100 and 800 km/h speed limit Finnish two-lane highways. The Finnish models  
379 depended on the direct traffic flow and the opposing traffic flow, and they presented higher  $ATSp_c$   
380 than our field data in highways with 80 km/h speed limit. The values were lower at highways with  
381 100 km/h. Their model was less sensitive to traffic flow than the current study, which may be caused  
382 by a lower interaction of platooned vehicles.

383



384  
385

(a)



386  
387

(b)

**Figure 2. Speed-related measures comparison: (a) ATSc, (b) ATSpC**

388  
389  
390  
391  
392

On the other hand, the percent free-flow speed was compared to the 2010 HCM estimates, and they were higher than the 2010 HCM estimates. This performance measure was slightly more sensitive to traffic flow than average travel speed. However, the follower criterion was different and



393 the observed highways were classified as Class II highways, where the *PFFS* is not considered as  
394 performance measure.

395

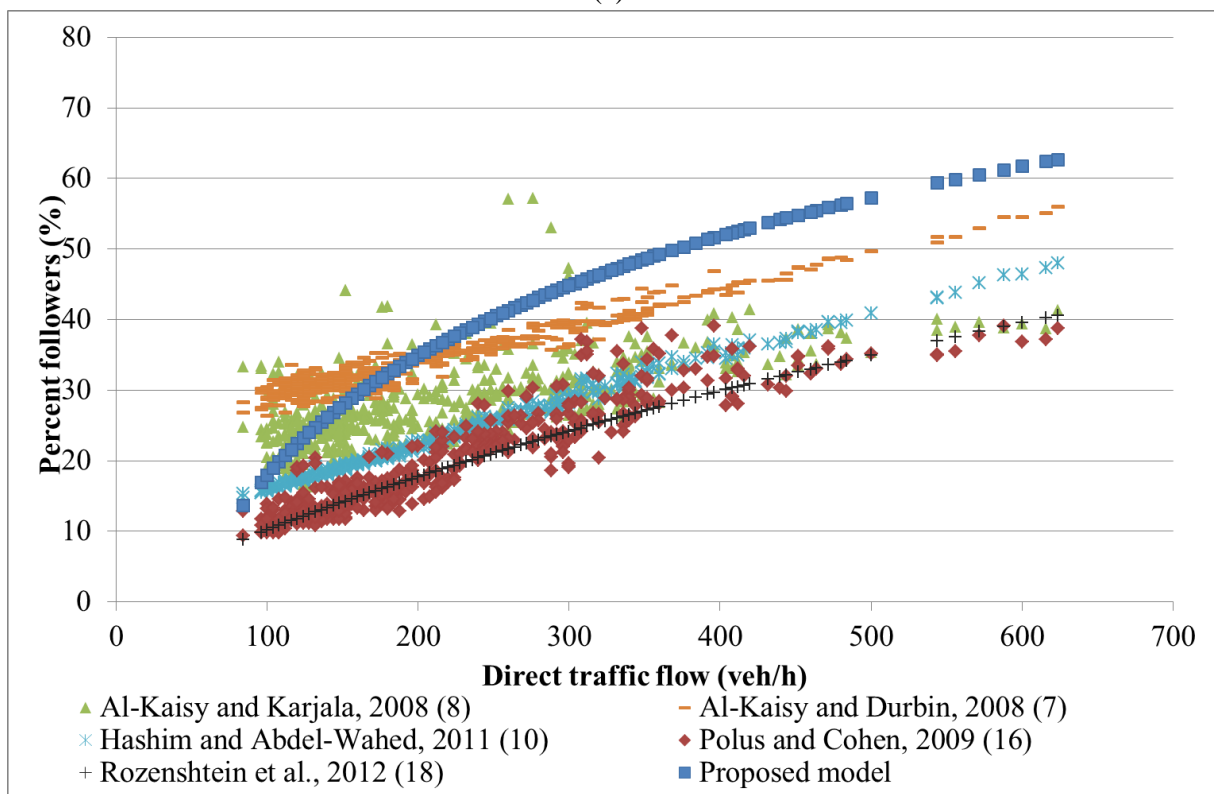
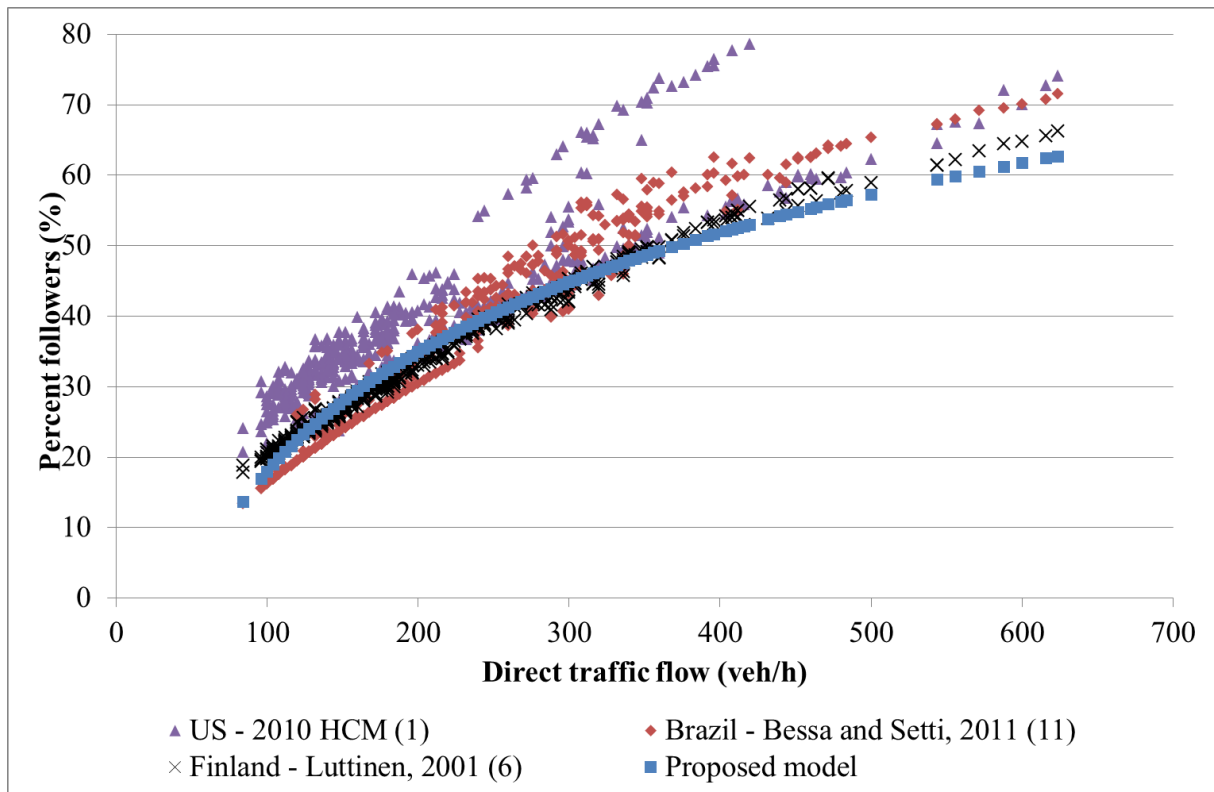
### 396 **Platooning-related performance measures**

397 As the percent followers is the surrogate measure for PTSF, both 2010 HCM PTSF estimates and  
398 percent followers were compared. As observed in Figure 3, the estimated PTSF was similar to the  
399 percent followers obtained in the field data and the PF model developed in the current research. The  
400 average difference between the model prediction and the 2010 HCM estimation was 6%; while the  
401 extreme differences were -3.8% and 28%, respectively. The larger differences were produced mainly  
402 in the CV-405, where the posted speed limit was 80 km/h, which may suggest that the adjustments for  
403 no-passing zones for *FFS* of 55 mi/h may not be as accurate as the adjustments for no-passing zones  
404 for *FFS* equal to 65 mi/h, as for *ATS*. Besides, more differences were observed at traffic flows lower  
405 than 250 veh/h, which would indicate that the extrapolation of their medium-high traffic volume field  
406 data was not too accurate for our observed low traffic flows.

407 As observed, the *PF* estimation of the current study was practically equal to the Finnish  
408 guidelines (6) even though their model depended on both direct and opposing traffic flow, the  
409 percentage of no passing zones and the percentage of heavy vehicles. Some minor differences could  
410 be observed for direct traffic flows higher than 500 veh/h, however they observed a maximum one-  
411 way traffic volume of 1600 veh/h (13). The second closest guideline was the Brazilian (11), followed  
412 by the 2010 HCM (1). The Brazilian model underestimated the percent followers at traffic flows  
413 lower than 200 veh/h and overestimated the value for higher traffic flows. Even though the correlation  
414 of their model was high, many of the scenarios were generated using traffic simulation and no  
415 characteristics of the observed data were given (11).

416 The current model and previous field studies that considered the percent followers using the  
417 3-second headway criterion were also compared. The studies in Montana (7, 8) estimated similar  
418 percent followers to the current study only at their observed traffic flows (between 100 and 200  
419 veh/h). The better adjustment of their second model (8) is caused by the presence of the standard  
420 deviation of the free flow speed of the period on the model, which was obtained from our field data  
421 and could be slightly different than theirs. On the other hand, the models from Israel (16, 18) and  
422 Egypt (10) estimated much lower percent followers than our model, which indicates a lower impact of  
423 platooning. This could be caused by a more aggressive behavior of the Israeli and Egyptian drivers or  
424 different road characteristics, such as the low percent of heavy vehicles and speed limit of 60 km/h in  
425 Egypt. On the other hand, the percent followers was calculated using the theoretical model and one of  
426 the hypotheses was that all vehicles that were at a platoon were willing to pass and they would  
427 perform a passing maneuver, which would lead to lower percent followers.

428

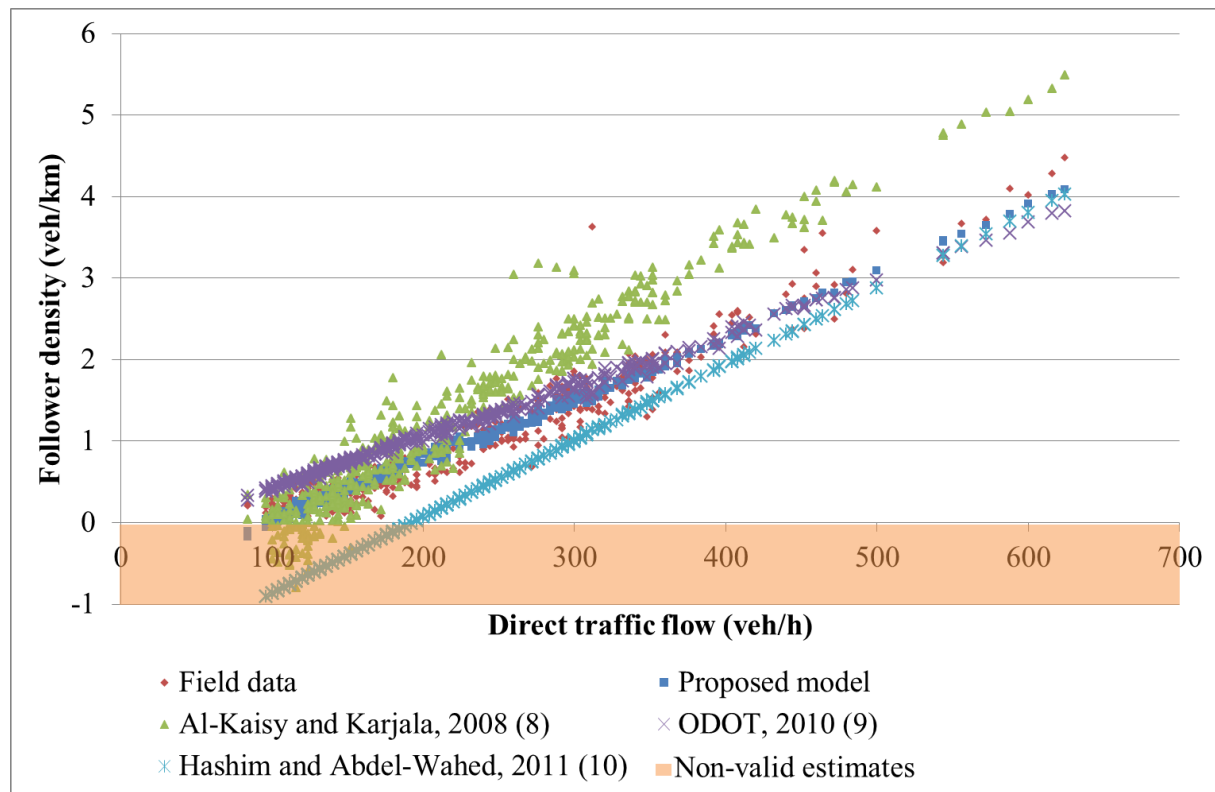


429 **Figure 3. Percent followers comparison: (a) guidelines; (b) field studies**

430

431 The follower density was compared to previous field studies in Montana, Oregon and Egypt,  
 432 as other studies did not provide the model equation (Figure 4). The prediction of the Oregon model  
 433 (9) was similar to our model, especially for high traffic flows, while for low traffic flows it provided

434 consistently higher follower density than our observed field data. Reversely, Al-Kaisy and Karjala's  
 435 model (8) presented good fit at their observed low traffic flow and their estimate for higher traffic  
 436 flows was much higher than our observations. The results confirm that the Spanish driver platooning  
 437 behavior was similar to the observed in US drivers. Similarly to the percent followers, the study from  
 438 Egypt (10) estimated the lowest follower density and their prediction was negative for one-way traffic  
 439 flows lower than 200 veh/h, which is a common traffic flow for two-lane rural highways in Spain.  
 440



441  
 442 **Figure 4. Follower density comparison**

443  
 444 The percent impeded was compared to previous models and the results were very different.  
 445 Firstly, the Egyptian model (10) estimates were lower than the other models and our field data, which  
 446 can be explained because of the different driver behavior. On the other hand, the differences between  
 447 the Al-Kaisy and Durbin's model (7) could be caused by an incorrect report of the model equation due  
 448 to the high variability of the results, considering that their observations had a coefficient of  
 449 determination of 98 % and the same data set was used to calculate the percent followers, which was  
 450 more similar to our field data.

451 The last comparisons were on the performance measures proposed by Polus and Cohen (16).  
 452 The average platoon length from the current study was very similar to the Polus and Cohen's model,  
 453 but the variable presented a high dispersion in the present study. Our freedom of flow was lower than  
 454 their predictions (16) and our traffic intensity was higher (16, 18), which supports the hypothesis that  
 455 Spanish drivers were more affected by platooning than Israeli drivers.  
 456

457 **Directional vs. two-way analysis**

458 All the ten performance measures were calculated using the directional models and the two-way  
 459 models and then the results were compared.

460 The directional distribution produced similar coefficients of determination as the two-way  
 461 analysis, mainly because the observed balanced flows: directional splits higher than 40/60 were

462 observed in a 15 % of the sample and higher than 30/70, in 1.7 %. The estimates from both analyses  
463 were very similar and the opposing traffic flow was only statistically significant on the follower  
464 density. For higher traffic flows, the predictions of the two-way analysis were higher than the field  
465 data and the directional analysis. The results partially support Luttinen's hypothesis that the  
466 directional analysis include the possible dependence of the performance measures on the opposing  
467 traffic flow (13).

468

## 469 CONCLUSIONS

470

471 Several authors have pointed out the shortcomings of the 2010 Highway Capacity Manual procedure  
472 to characterize traffic performance on two-lane rural highways, and they have defined alternative  
473 performance measures that are easier to measure in field, such as the follower density or the traffic  
474 intensity. This study calibrates 10 performance measures identified in the literature for the same data  
475 set. The recording time was 55 hours, with more than 10,000 vehicles identified.

476 The studied performance measures included: average travel speed; average travel speed of  
477 passenger cars; percent free-flow speed; percent free-flow speed of passenger cars; percent followers;  
478 follower density; percent impeded; average platoon length; traffic intensity; and, freedom of flow.  
479 Both directional and two way analysis were considered and the differences between both analyses  
480 were very low, especially at the platooning variables.

481 The results of the analysis indicated that the follower density had the strongest correlation  
482 with traffic variables, with a coefficient of correlation of 94%. The best fitted model depended on the  
483 direct traffic flow, the opposing traffic flow and the percent of heavy vehicles. The estimations from  
484 the present model were compared with the estimations of previous models and they were similar  
485 within their observation range; which can verify that Spanish drivers' behavior is comparable with US  
486 drivers' behavior.

487 The next performance measures were the percent followers and the percent impeded, with  
488 coefficients of correlation of 62 and 58%, respectively. The percent followers observed in this field  
489 study were very similar to Luttinen's model (6) and slightly lower than the 2010 HCM estimates.  
490 Some differences with the 2010 HCM were produced at the highway with posted speed limit of 80  
491 km/h, which may suggest that the adjustments for no-passing zones may not be as accurate as for the  
492 100 km/h speed limit highways. However, the larger differences were detected for directional traffic  
493 flows lower than 250 veh/h. This could indicate that the extrapolation of the 2010 HCM for low  
494 traffic flows is not too accurate and provides higher percent followers than the observed in the field.  
495 Reversely, previous US linear models had similar results at low traffic flows, where their data was  
496 observed. This could indicate that the driver behavior in Spain was similar to the US and supports that  
497 the 2010 HCM overestimates the percent followers for low traffic flows.

498 The platooning-related performance measures defined by Polus and Cohen (16) presented  
499 higher dispersion and correlations with traffic variables between 33 and 49%, which could indicate  
500 that the observed driver behavior was more disperse and may have more influence on the results than  
501 their theoretical model expected. Moreover, they predicted less platooning for all their variables than  
502 the observed in field, which could be caused by the incomppliance of the assumptions of their  
503 theoretical model (all drivers will perform a passing maneuver when possible) or by a more  
504 aggressive behavior in Israel. Finally, the speed-related measures presented the weakest correlation  
505 with traffic variables, and in some cases they were hardly sensitive to traffic flow, which agrees with  
506 previous field studies.

507 The conclusions of this study support the follower density selection as major performance  
508 measure, as it presents the strongest correlation to the traffic variables for the observed conditions and  
509 it is easy to measure and estimate. This performance measure combines the percent of followers, the

510 average travel speed and the traffic flow. Even though the favorable results may be caused by the  
511 dependence of the follower density on the traffic flow, the measure can better represent the overall  
512 traffic performance than the percent-time-spent-following or its surrogate, the percent followers. The  
513 conclusions may be limited to the observed conditions and two-way traffic flows higher than 1,000  
514 veh/h or direct traffic flows higher than 600 veh/h could provide different results, as well as skew  
515 directional distributions or two-way highways with speed limit different than 80 or 100 km/h;  
516 however, they could be used to develop two-lane highway simulation models and analytical  
517 methodologies to establish levels of service based on the follower density or better adjustments to the  
518 2010 HCM procedure.

519

## 520 ACKNOWLEDGEMENTS

521

522 This report has been partially developed as a result of a mobility stay at the University of British  
523 Columbia (UBC) funded by the Erasmus Mundus Programme of the European Commission under the  
524 Transatlantic Partnership for Excellence in Engineering – TEE Project.

525 The author would like to thank Spanish Ministry of Science and Innovation that subsidizes the  
526 research project with reference code TRA2010-21736, and Spanish General Directorate of Traffic and  
527 Spanish Ministry of Public Works, for their collaboration during the field study.

528

## 529 REFERENCES

530

- 531 1. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual, 2010.
- 532 2. Romana, Country Report Spain, 6<sup>th</sup> International Symposium of Highway Capacity and  
533 Quality of Service, Stockholm, 2011.
- 534 3. Washburn, S., McLeod, S. and G.K. Courage. Adaptation of Highway Capacity Manual 2000  
535 for Planning-Level Analysis of Two-Lane and Multi-Lane Highways in Florida,  
536 *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1802,  
537 2002, pp. 62-68.
- 538 4. Romana, M. and I. Perez. Measures of Effectiveness for Level-of-Service Assessment of  
539 Two-Lane Roads: An Alternative Proposal Using a Threshold Speed, *Transportation*  
540 *Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1988, 2006, pp. 56-62.
- 541 5. Luttinen, T., Dixon, M. and S. Washburn. Two-Lane Highway Analysis in HCM 2000, Draft  
542 White Paper, 2003. Retrieved from the internet 05/05/2013 from:  
543 <https://people.sunyit.edu/~lhmi/ahb40/meetings/2005-07/White.pdf>
- 544 6. Luttinen, T. Percent Time-Spent-Following as Performance Measure for Two-Lane  
545 Highways, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*,  
546 No. 1776, 2001, pp. 52-59.
- 547 7. Al-Kaisy, A. and C. Durbin. Evaluating new methodologies for estimating performance on  
548 two-lane highways. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 35, 2008, pp.777-785.
- 549 8. Al-Kaisy, A. and S. Karjala. Indicators of Performance on Two-Lane Rural Highways: An  
550 Empirical Investigation, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation*  
551 *Research Board*, No. 2071, 2008, pp. 87-97.
- 552 9. Oregon Department of Transportation. Modeling Performance Indicators on Two-Lane Rural  
553 Highways: The Oregon Experience, 2010. Retrieved from the internet 05/05/2013 from:  
554 <http://www.oregon.gov/ODOT/TD/TP/docs/reports/modelingperf.pdf>
- 555 10. Hashim, I. and T.A. Abdel-Wahed. Evaluation of Performance Measures for Rural Two-Lane  
556 Roads in Egypt, *Alexandria Engineering Journal*, No. 50, 2011, pp.245-255.
- 557 11. Bessa, J.E. and J.R. Setti. Deviation of ATS and PTSF Functions for Two-lane, Rural  
558 Highways in Brazil. Presented at the 6<sup>th</sup> International Symposium on Highway Capacity and  
559 Quality of Service, 2011.

- 560 12. Brilon, W. and F. Weiser. Two-Lane Rural Highways: The German Experience,  
561 *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1988,  
562 2006, pp. 38-47.
- 563 13. Luttinen, T. Level of Service on Finnish Two-Lane Highways, Transportation Research  
564 Circular E-C018: Fourth International Symposium on Highway Capacity, 2000.
- 565 14. Van As, S.C. and A. Niekerk. The Operational Analysis of Two-Lane Rural Highways, 23RD  
566 Southern African Transport Conference, 2003.
- 567 15. Catbagan, J.L. and H. Nakamura. Evaluation of Performance Measures for Two-Lane  
568 Expressways in Japan, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation*  
569 *Research Board*, No. 1988, 2006, pp. 111-118.
- 570 16. Polus, A. and M. Cohen. Theoretical and empirical relationships for the quality of flow and  
571 for a new level of service on two-lane highways. *Journal of Transportation Engineering*, Vol  
572 135, No. 6, 2009, pp. 380-385.
- 573 17. Cohen, M. and A. Polus. Estimating Percent-Time-Spent-Following on Two-Lane Rural  
574 Highways, *Transportation Research Part C*, No. 19, 2011, pp. 1319-1325.
- 575 18. Rozenhstein, S., Polus, A. and M. Cohen. Models for Estimating Drivers Following on Two-  
576 Lane Rural Highways, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation*  
577 *Research Board*, No. 2286, 2012, pp. 68-75.
- 578 19. Kaub, A. Passing Operations on a Recreational Two-Lane, Two-Way Highway,  
579 *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1280,  
580 1990, pp. 156-162.
- 581 20. Romana, M. G. Passing Activity on Two-Lane Highways in Spain, *Transportation Research*  
582 *Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1678, 1999, pp.90-95.
- 583 21. Llorca, C and A. García. Evaluation of Passing Process on Two-lane Rural Roads in Spain  
584 using a New Methodology Based on Video Data, *Transportation Research Record: Journal*  
585 *of the Transportation Research Board*, No. 2262, 2011, pp. 42-51.
- 586 22. Carlson, P. J., J. D. Miles and P. K Johnson, Daytime High Speed Passing Maneuvers  
587 observed on Rural Two-Lane, Two-Way Highway: Findings and Implications, *Transportation*  
588 *Research Record: Journal of Transportation Research Board*, No. 1961, Transportation  
589 Research Board, 2006, pp. 9.
- 590 23. Moreno, A.T., Llorca, C., García, A. and A.M. Pérez-Zuriaga. Operational Effectiveness of  
591 Passing Zones depending on their Length and Traffic Volume. Presented at the Transportation  
592 Research Board 92nd Annual Meeting, 2013. (Accepted for publication in Transportation  
593 Research Record).
- 594 24. Morrall, J. and A. Werner. Measuring level of service of two-lane highways by overtakings.  
595 *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1287,  
596 1990, pp. 62-69.
- 597 25. Harwood, D., May, A., Anderson, I., Leiman, L. and R. Archilla. Capacity and Quality of  
598 Service of Two-Lane Highways. Transportation Research Board, 1999.
- 599 26. Llorca, C., Moreno, A.T., García, A. and A.M. Perez-Zuriaga. Observations of Daytime and  
600 Nighttime Passing Maneuvers on Two-Lane Rural Road in Spain. Presented at the  
601 Transportation Research Board 92nd Annual Meeting, 2013. (Accepted for publication in  
602 Transportation Research Record).
- 603 27. Luttinen, T. Uncertainty in the Operational Analysis of Two-lane Highways. TL Consulting  
604 Engineers, 2001.
- 605 28. Osborne, Jason and E. Waters Four assumptions of multiple regression that researchers should  
606 always test. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, Vol. 8 No. 2, 2002.

**Evaluación de medidas de desempeño del tráfico considerando las zonas de adelantamiento de carreteras convencionales mediante microsimulación**

**Traffic Microsimulation Study to Evaluate Two-Lane Highway Traffic Performance Measures considering Passing Zones**

**Funcionalidad en carreteras convencionales**

**Ana Tsui Moreno**

Personal Investigador

Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras (GIIC)

Universitat Politècnica de València, España

Camino de Vera, S/N 46071 Valencia

e-mail: [anmoch@cam.upv.es](mailto:anmoch@cam.upv.es)

tel. 96 3877374

**Carlos Llorca**

Personal Investigador, GIIC, Universitat Politècnica de València, España

**José Elievam Bessa Júnior**

Personal Investigador, Universidad de São Paulo, São Carlos School of Engineering, Brasil

**Alfredo García**

Catedrático, GIIC, Universitat Politècnica de València, España

**David K. Hale**

Assisstant in Engineering, University of Florida, EEUU

## RESUMEN

En la actualidad, en España se emplea el Manual de Capacidad americano de 2010 (HCM 2010) para analizar la funcionalidad de carreteras convencionales. El efecto del adelantamiento se considera con factores de ajuste para las medidas de desempeño, velocidad media y porcentaje de tiempo en cola, que dependen del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido, y fueron calibrados con simulaciones con datos de los años setenta.

El objetivo de esta investigación es la evaluación de la funcionalidad en carreteras convencionales mediante microsimulación, considerando las zonas de adelantamiento. La calibración y validación del modelo se realizó con datos de campo mediante algoritmos genéticos. Posteriormente, el modelo se aplicó a una carretera convencional ideal variando el tráfico y la distribución de las zonas de adelantamiento, con un total de 85.497 escenarios. Entre las conclusiones, se destaca que el porcentaje de zona de adelantamiento no permitido no es suficiente para explicar el efecto de los adelantamientos en el porcentaje de tiempo en cola y en la velocidad media, por lo que deberían incluirse también las longitudes de las zonas de adelantamiento.

**Palabras clave:** Funcionalidad, Carretera convencional, Porcentaje de tiempo en cola, Velocidad media, Porcentaje de vehículos en cola.

## ABSTRACT

The Highway Capacity Manual (HCM 2010) is used in Spain to analyze traffic operation and quality of service. The effect of passing in two-lane highways is considered through adjustment factors to the average speed and the percent time spent following. They depend on the percentage of no passing zones and were calibrated with traffic simulations based on field data from the 70's.

The objective of this research is to evaluate the performance measures in two-lane highways considering the distribution of passing zones. TWOPAS was calibrated and validated with field data. For the calibration, genetic algorithms were used. Then, the model was applied to an ideal two-lane highway varying the traffic flow and the passing zone distribution. More than 85.000 scenarios were simulated. The percentage of no passing zones was not enough to explain the effect of passing maneuvers in the performance measures; so, the length of the passing zones should also be considered.

**Keywords:** Traffic operation, Two-lane highway, Percentage time spent following, Average speed, Percent followers.

## 1. INTRODUCCIÓN

En las carreteras convencionales de dos carriles, los vehículos que quieren mantener su velocidad deseada deben adelantar a los vehículos más lentos empleando el carril destinado al tráfico en sentido contrario donde el adelantamiento esté permitido. En consecuencia, las maniobras de adelantamiento están limitadas tanto por los huecos en el sentido contrario como por la visibilidad de adelantamiento disponible.

Actualmente, a falta de un manual adaptado a las condiciones españolas, para la evaluación de la calidad de servicio en vías y nudos se emplea el Manual de Capacidad americano (HCM 2010) del Transportation Research Board [1]. En el caso de las carreteras convencionales de dos carriles, las medidas de desempeño son: velocidad media de recorrido, porcentaje de tiempo en cola y porcentaje de velocidad libre. El efecto de los adelantamientos se considera en la metodología mediante factores de ajuste para las medidas, que fueron obtenidos con simulaciones en TWOPAS [2]. Estos ajustes dependen del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido en lugar del efecto de cada zona de adelantamiento, lo que ha podido causar las diferencias observadas entre las estimaciones del HCM y



las obtenidas con simulaciones en TWOPAS [3] y en CORSIM [4]. Es más, no existen indicaciones sobre la precisión del ajuste o la distribución de las zonas de adelantamiento empleada [5]. Por otro lado, los datos de campo para calibrar el modelo de microsimulación son de los años setenta [2] y no está claro si el comportamiento de los conductores y las características de sus vehículos han variado en los últimos 40 años.

Los estudios de adelantamiento se han centrado en la determinación de criterios de señalización y diseño de zonas de adelantamiento [6-11] o en determinar la frecuencia de adelantamientos o ratio de adelantamientos en función del tráfico [12-16]. Existe una gran dispersión entre la frecuencia de adelantamientos en los anteriores estudios, que se puede deber a la diferencia en el volumen de tráfico, reparto, longitud de zonas de adelantamiento y la variación geográfica. En los dos estudios realizados en carreteras españolas se concluyó que la frecuencia de adelantamientos era máxima para un volumen de tráfico total entre 600 y 800 veh/h [14, 16]. Por su parte, Moreno et al. [16] demostraron que la efectividad de las zonas de adelantamiento se estabiliza a partir de 1.100 m, por lo que la consideración del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido en lugar de la longitud y distribución de las zonas de adelantamiento puede no representar adecuadamente el comportamiento del tráfico.

Si bien los estudios de campo proporcionan datos reales del comportamiento de los conductores, el volumen de tráfico que se puede observar no cubre todo el rango posible. Con el fin de extrapolar los datos observados, se pueden emplear modelos de microsimulación de tráfico. Estos modelos requieren de la descripción del movimiento de cada vehículo individual en el flujo del tráfico, incluyendo su aceleración, deceleración, seguimiento o cambio de carril, entre otros [17]. Estos modelos se deben calibrar y validar con datos de campo para minimizar las diferencias entre lo observado en campo y los resultados de la simulación [17-19].

No todos los microsimuladores de tráfico tienen la capacidad de simular maniobras de adelantamiento. Uno de los simuladores más antiguos es TWOPAS, que actualmente se ejecuta a través del Módulo de Análisis de Tráfico (TAM) del IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model). TWOPAS se ha utilizado para analizar la velocidad media de recorrido y el porcentaje de tiempo en cola en las carreteras convencionales de Brasil empleando algoritmos genéticos [20], para evaluar carriles para vehículos lentos en rampas pronunciadas [21], para determinar los factores de ajuste del HCM 2010 [2] y demostrar que las zonas de adelantamiento cortas (menores a 240 m) no contribuyen a mejorar el nivel de servicio [9]. Pese a que TWOPAS ha sido el modelo más empleado, existen más modelos de microsimulación que incluyen módulos de adelantamiento aunque no se han calibrado con datos de campo, como CORSIM [22], TWOSIM [23-24], RutSim [25], Ghods y Saccomanno [26], o utilizado para la evaluación de la calidad del tráfico, como Aimsun [27].

Como se ha identificado en la literatura, la metodología actual para la evaluación de la calidad del tráfico en carreteras convencionales está basada en datos de los años setenta y no considera la distribución de las zonas de adelantamiento a lo largo de la carretera. Por ello, es necesario actualizar los datos de comportamiento del conductor en zonas de adelantamiento para calibrar y validar un modelo de microsimulación, que permita cubrir todo el rango de tráfico en una misma carretera y variar de forma controlada sus zonas de adelantamiento.

## **2. OBJETIVOS**

El objetivo principal de la investigación es la calibración y validación de un modelo de microsimulación en TWOPAS con datos de campo para el análisis de la velocidad media y porcentaje de tiempo en cola considerando las zonas de adelantamiento en carreteras convencionales. Para alcanzar el objetivo principal, se han identificado los siguientes objetivos secundarios:

- Desarrollar una metodología experimental de toma de datos en zonas de adelantamiento para obtener las características del tráfico en función de la longitud de la zona de adelantamiento y el volumen de tráfico.
- Calibrar y validar el modelo de microsimulación en TWOPAS mediante algoritmos genéticos.
- Generar múltiples escenarios en TWOPAS para evaluar la calidad del tráfico variando las características de sus zonas de adelantamiento y del tráfico.
- Analizar la velocidad media de recorrido y el porcentaje de tiempo en cola de los escenarios simulados para verificar la influencia de la distribución de las zonas de adelantamiento.

### 3. ESTUDIO DE CAMPO

Para poder calibrar adecuadamente el modelo de microsimulación, se recogieron datos de campo en 4 zonas de adelantamiento situadas en una carretera convencional en la provincia de Valencia (N-225). Para su selección se consideró cubrir un considerable rango de volumen de tráfico total (120 – 900 veh/h), reparto (50/50-30/70) y composición (5-30 % pesados), al igual que longitud de sus zonas de adelantamiento (285-1.270 m). La velocidad límite de la carretera es 100 km/h y la intensidad media diaria 5.925 veh/día. Estos datos ya han sido empleados para obtener la frecuencia de adelantamiento, con un comportamiento consistente con otras 12 zonas de adelantamiento adicionales de la provincia de Valencia [16], para evaluar 10 medidas de desempeño en carreteras convencionales [28] y para determinar huecos aceptados y rechazados, duración de la maniobra de adelantamiento o tiempos hasta la colisión [10].

Se han empleado 9:30 h de grabaciones de vídeo para caracterizar el comportamiento del tráfico antes y después de cada zona de adelantamiento (Figura 1). Las cámaras se encontraban situadas en la vía de servicio paralela a la carretera. A partir de los vídeos, en el inicio y final de cada zona de adelantamiento se obtuvo el tiempo de paso para cada vehículo, pudiendo calcular el volumen de tráfico, composición e intervalo entre vehículos. El porcentaje de vehículos en cola se calculó como el porcentaje de vehículos con intervalo inferior a 3 segundos, compatible con el HCM 2010. Además, al disponer de la secuencia de vehículos en cada sección se determinó también la velocidad media de recorrido y el número de adelantamientos.

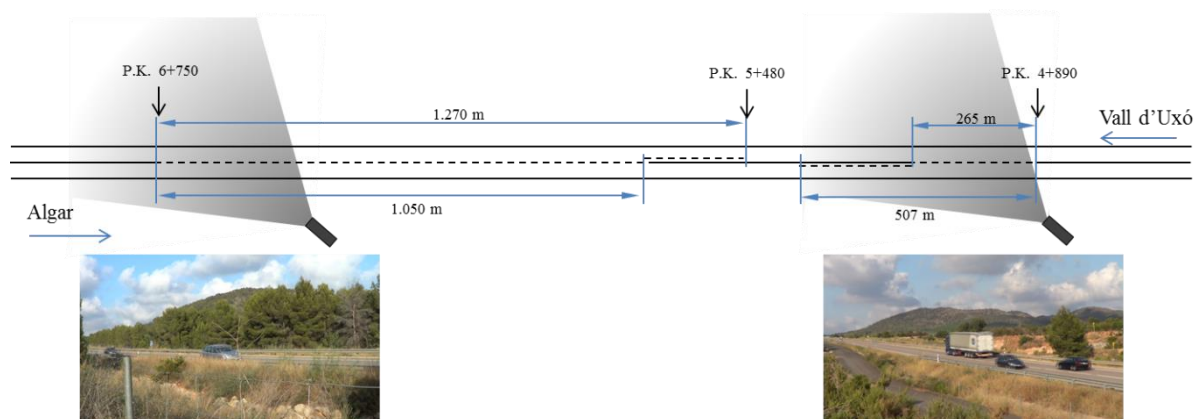


Figura 1. Toma de datos

Las características del tráfico se computaron en periodos de conteo de 5 minutos, que a su vez se agregaron en 15 minutos como la suma de tres periodos de conteo sucesivos. De esta forma, se reduce la probabilidad de identificar mal el periodo de 15 minutos más cargado, comparado con un conteo en periodos de 15 minutos consecutivos. Posteriormente, los datos de 15 minutos se convirtieron en datos horarios equivalentes. En consecuencia, para cada periodo y sentido de circulación, se obtuvo: intensidad direccional, composición del tráfico, velocidad media de recorrido, distribución de velocidad

de vehículos ligeros, distribución de velocidad de vehículos pesados, número de maniobras de adelantamiento, porcentaje de vehículos en cola en el inicio de la zona de adelantamiento y porcentaje de vehículos en cola en el final de la zona de adelantamiento, entre otros.

#### **4. MICROSIMULACIÓN DE TRÁFICO EN TWOPAS**

El resultado de la calibración de un modelo de microsimulación es la combinación de parámetros del modelo que minimiza la diferencia entre los datos de campo y los resultados del mismo escenario simulado. Para ello, se han empleado algoritmos genéticos. Con el modelo calibrado, se valida con más datos de campo. Finalmente, se generan los escenarios para evaluar la efectividad de las zonas de adelantamiento en los parámetros de desempeño de carreteras convencionales de dos carriles. Las simulaciones han sido de 15 minutos, con un periodo de calentamiento de otros 15 minutos.

##### **4.1 Escenarios de calibración**

En primer lugar, se implementa el segmento de carretera convencional observado en TWOPAS utilizando el perfil restituído de la vía en planta y alzado a partir de varios recorridos con un GPS de alta precisión (10 Hz). Igualmente, se introduce la sección transversal, perfil de visibilidad disponible, zonas de adelantamiento y velocidad límite y se sustituyen los parámetros americanos por defecto de distancia mínima de adelantamiento, altura del conductor y del objeto, características técnicas de los vehículos, así como la velocidad deseada y su desviación para cada categoría de vehículo.

Entre las características técnicas que varían significativamente entre el parque de vehículos americano y español se encuentra la máxima aceleración y longitud media, en vehículos ligeros, o la relación peso/potencia y peso/área frontal, en pesados. A partir de las grabaciones se identificaron 5 categorías de vehículo ligero: utilitario, compacto, berlina, monovolumen y todoterreno; y 2 categorías de vehículo pesado: rígido y articulado. Además de sus características técnicas, se asigna el porcentaje de la composición a cada categoría de vehículo observado en la N-225. Para determinar la velocidad deseada, se consideraron aquellos vehículos circulando en flujo libre con el criterio de 3 segundos del HCM 2010 [1].

Tras ello, se seleccionan los escenarios de tráfico para calibrar. En la calibración se tomaron 30 periodos de 15 minutos consecutivos, dejando los restantes 60 periodos de 15 minutos, obtenidos con el solape de los periodos de 5 minutos consecutivos, para la validación. En los escenarios se han variado los volúmenes de tráfico direccional, composiciones del tráfico direccional y porcentaje de vehículos en cola al principio del segmento en cada sentido.

##### **4.2 Calibración mediante algoritmos genéticos**

Tras la definición de los escenarios para calibración, basados en los datos de campo, se ejecuta el algoritmo genético. Esta técnica de optimización busca la combinación de los parámetros a calibrar que minimiza una función objetivo, definida como la diferencia en unas variables entre los datos de campo y los resultados de la simulación, y está basado en los principios de la selección natural y la supervivencia de los individuos más fuertes en cada generación. El algoritmo genético parte de una generación inicial de individuos (o combinaciones de parámetros de calibración). Aquellos individuos más fuertes tendrán más probabilidades de convertirse en los padres de la siguiente generación de individuos. Para engendrar un individuo de la nueva generación, dos padres cruzan su material genético. La nueva generación sustituirá completamente a la generación anterior. Al favorecerse el cruzamiento entre los individuos más fuertes, es más probable que el mejor material genético se propague en las sucesivas generaciones. Además, se puede introducir la mutación de individuos tras el cruzamiento, de forma que se diversifique la búsqueda y la población no se estanque en un óptimo local. Con una buena combinación de cruzamiento y mutación, la población irá convergiendo hacia una solución óptima del problema. Al algoritmo se puede añadir elitismo y depredación. El elitismo hace que el individuo más fuerte sea el que se cruce con el resto de individuos, mientras que la depredación

elimina a un porcentaje determinado de los peores individuos y lo sustituye por nuevos individuos aleatorios. El algoritmo podría seguir indefinidamente, por lo que se incluyen criterios de parada: alcanzar el número máximo de generaciones; obtener un error inferior al error mínimo determinado; o que la mejora en algunas generaciones sucesivas sea igual o inferior a un porcentaje.

En esta investigación se ha partido del algoritmo genético desarrollado por Bessa y Setti [20] y se ha adaptado la función objetivo considerando los datos de campo, al igual que los parámetros del algoritmo genético y los criterios de parada. El algoritmo tiene implementado el elitismo, cruzamiento, mutación y depredación. Cada generación puede tener hasta 40 combinaciones de parámetros a calibrar (individuos), que se aplicará a cada uno de los 30 escenarios de tráfico seleccionados. El funcionamiento del algoritmo genético se muestra en la Figura 2.

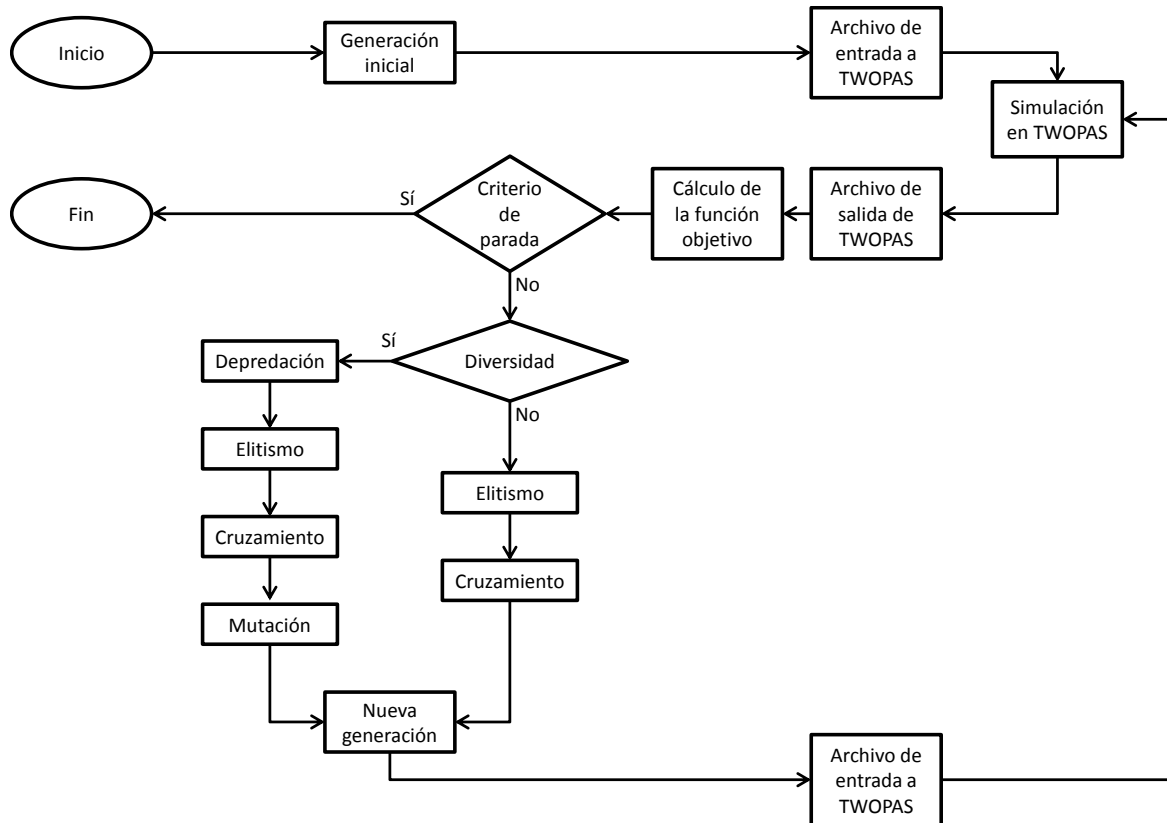


Figura 2. Funcionamiento del algoritmo genético

Los parámetros a calibrar, que dependen de las características locales de los conductores y deben ser modificables por los usuarios de TWOPAS, han sido:

- Probabilidad de reconsiderar comenzar una maniobra de adelantamiento en un periodo de simulación (PREC). Su valor por defecto es 0,2.
- Factor de sensibilidad de seguimiento (ZKCOR). Su valor por defecto es 0,8.
- Factores estocásticos de cada tipo de conductor (BKPM1 a BKPM10). Sus valores por defecto son: 0,43; 0,51; 0,57; 0,65; 0,76; 0,91; 1,13; 1,34; 1,58 y 2,12.

Además, se ha acotado el intervalo de variación de cada parámetro al valor mínimo y máximo admisible en TWOPAS.

Posteriormente, se construye la función objetivo en función de los datos de campo disponibles. Para cada variable, se calculará la diferencia relativa en valor absoluto entre el valor de campo y el de simulación. El valor de la función objetivo será la suma de errores relativos dividida entre el número de variables. En este caso, se han seleccionado 20 variables (10 en cada sentido de circulación):

- Número de adelantamientos.
- Porcentaje de vehículos en cola al final del segmento.
- Velocidad media de vehículos ligeros y pesados, desviación de la velocidad de vehículos ligeros y pesados.
- Percentiles 15 y 85 de la distribución de velocidad de vehículos ligeros y pesados.

No obstante, la importancia relativa de cada variable no es la misma, por lo que se asignó un peso a cada variable. Se probaron tres distribuciones de pesos, desde un peso igual para los adelantamientos (33%), porcentaje de vehículos en cola (33%) y velocidades (33%), hasta un 58% del peso para los adelantamientos, 30% para el porcentaje de vehículos en cola y 12% para las velocidades. Para determinar la mejor distribución de pesos se ejecutó el algoritmo genético con 4 generaciones y se analizó la sensibilidad de la función objetivo. En base a los resultados, se tomó la tercera distribución de pesos.

Finalmente, se seleccionaron los parámetros del algoritmo genético. Se consideraron generaciones de 40 individuos y 5 semillas aleatorias, para cada uno de los 30 escenarios de tráfico, que resultó en 6.000 simulaciones por generación. Debido a que los parámetros de mutación, depredación y diversidad pueden condicionar que la evolución se centre en un mínimo local en lugar del mínimo global si son muy bajos, o que no converja si son muy elevados, se probaron tres combinaciones de parámetros con 20 generaciones (360.000 simulaciones). De las tres combinaciones de parámetros, se tomó la que proporcionaba un menor valor de la función objetivo, que correspondía con parámetros de mutación, depredación y diversidad de 0,4; 0,3 y 4, respectivamente. Con esta combinación de parámetros, se ejecutó el algoritmo genético con 80 generaciones de 40 individuos y 5 semillas aleatorias, con 480.000 simulaciones individuales.

Los resultados de la calibración permitieron observar la evolución del valor mínimo de la función objetivo a lo largo de las generaciones, viendo como disminuía el error mínimo hasta 3,8% por variable y como el comportamiento de los conductores españoles es más agresivo que por defecto en TWOPAS, al multiplicarse por 4 la probabilidad de considerar adelantar en un periodo determinado (PREC). El error de los valores por defecto era del 7,9 %, reduciendo a menos de la mitad el error medio por variable. Igualmente, en cada generación existían también individuos con mayor error que se han alejado de la solución óptima por la mutación y/o depredación.

### **4.3 Validación**

Para la validación del modelo de simulación se tomaron 60 escenarios de tráfico adicionales a los de calibración. Estos escenarios se ejecutaron con alguna de las 25 mejores combinaciones de parámetros resultantes de la calibración, y 5 semillas aleatorias. El error medio resultante fue del 4,3%, dándose por bueno el modelo calibrado.

### **4.4 Generación de escenarios de análisis**

Para el caso de estudio se ha tomado un segmento de carretera convencional ideal de 10 km recto, con una pendiente constante del 0,5%, en el que se ha variado la longitud de sus zonas de adelantamiento, porcentaje de vehículos en cola, reparto, volumen direccional, semilla aleatoria y combinación de parámetros calibrados.

Se han considerado tres porcentajes de zona de no adelantamiento (No-passing zone, NPZ): 0% NPZ (se puede adelantar en toda la vía), 50% NPZ y 100% NPZ (adelantamiento no permitido). Para el caso de 50% NPZ, se ha variado la distribución de las zonas de adelantamiento. En cada escenario, la longitud de las zonas de adelantamiento es constante y es simétrico para ambos sentidos de circulación. En la Figura 3 se observan las distribuciones de zonas de adelantamiento generadas.

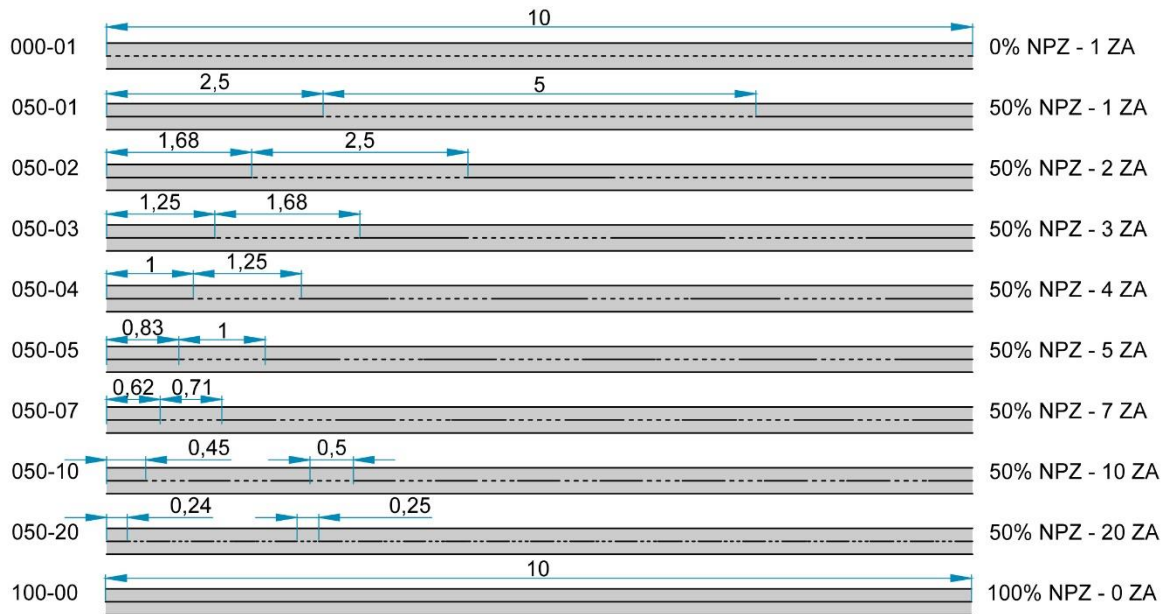


Figura 3. Escenarios simulados

En cuanto al tráfico, se han tomado 2 porcentajes de vehículos pesados (0% y 10%); 7 repartos (20/80; 30/70; 40/60; 50/50; 60/40; 70/30; 80/20) y 32 intensidades de tráfico direccionales, entre 100 y 1.700 veh/h, con saltos entre 35 y 65 veh/h. Los saltos se seleccionaron aleatoriamente en cada caso, de tal forma que los resultados obtenidos son más continuos y no corresponden con saltos constantes de 50 veh/h. Para cada combinación de reparto e intensidad direccional, se calculó la intensidad direccional opuesta, limitada a 1.700 veh/h y con volumen total inferior a 3.400 veh/h. El porcentaje de vehículos en cola al principio del segmento se calculó en base al modelo desarrollado por Moreno et al. (2014) para la misma carretera.

Finalmente, para cada escenario con una distribución de zonas de adelantamiento, porcentaje de vehículos pesados, reparto e intensidad direccional, se hicieron 15 replicaciones. En ellas, se modificó la semilla aleatoria de TWOPAS, eligiendo el valor aleatoriamente entre 25 semillas, y la combinación de parámetros de calibración, tomando aleatoriamente una de las 50 mejores combinaciones resultantes en la calibración.

TABLA 1. Escenarios simulados en TWOPAS

VARIABLE	Distribución de zonas de adelantamiento	% vehículos pesados	Reparto	Volumen direccional (veh/h)	Réplicas
Valores	0% NPZ, 1. ZA (000-01)	0 10	20/80 30/70 40/60 50/50 60/40 70/30 80/20	100 – 1.700 saltos de 50±15	15 semillas aleatorias y combinaciones de parámetros
	50% NPZ, 1 ZA (050-01)				
	50% NPZ, 2 ZA (050-02)				
	50% NPZ, 3 ZA (050-03)				
	50% NPZ, 4 ZA (050-04)				
	50% NPZ, 5 ZA (050-05)				
	50% NPZ, 7 ZA (050-07)				
	50% NPZ, 10 ZA (050-10)				
	50% NPZ, 20 ZA (050-20)				
	100% NPZ, 0 ZA (100-00)				
Subtotal	10	2	7	32	15
TOTAL	91.485 simulaciones ejecutadas, 85.497 simulaciones válidas				

En total se han simulado 91.485 escenarios, como se muestra en la Tabla 1. No obstante, 6.188 escenarios no devolvieron resultados, de los cuales 5.988 escenarios correspondían con intensidad de tráfico elevada, ya sea un volumen de tráfico direccional superior a 1.540 veh/h o un volumen total superior a 3.220 veh/h; a pesar de que el volumen máximo direccional en TWOPAS es 2.000 veh/h, y se indica que flujos superiores a 1.700 veh/h generan congestiones que paran el programa [29]. El resto de escenarios tenía un volumen de tráfico medio. En ellos, se varió la semilla aleatoria de TWOPAS y se volvieron a ejecutar, con resultados positivos. Finalmente, se contaron con datos de 85.497 escenarios, que resultaron en 170.994 datos direccionales.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las variables analizadas son: número total de adelantamientos en el segmento, velocidad media de recorrido, porcentaje de vehículos en cola al final del segmento y porcentaje de tiempo en cola. Los datos se extrajeron a partir del archivo .OUT que genera TWOPAS para cada simulación individual, y su análisis estadístico se realizó con R.

### 5.1. Número de adelantamientos

En primer lugar, se ha analizado la influencia del reparto en el número de adelantamientos en la configuración 000-01, donde se permite el adelantamiento en todo el segmento. Como se puede observar en la Figura 4, el número total de adelantamientos varía significativamente en función del reparto, a igualdad de intensidad direccional. En el caso de repartos poco favorables (20/80-30/70), el número total de adelantamientos es muy limitado puesto que los huecos en el tráfico opuesto son escasos. La intensidad direccional que maximiza el número de adelantamientos se encuentra entre 200 y 300 veh/h, y a partir de 600 veh/h prácticamente ya no se producen maniobras de adelantamiento. A medida que el reparto se equilibra, el total de maniobras de adelantamiento aumenta, así como el rango de intensidades donde se producen adelantamientos y la intensidad direccional que los maximiza. En repartos proporcionados, esta intensidad direccional se encuentra entre 400 y 500 veh/h, ligeramente superior al determinado a partir de observaciones por Romana [14] y Moreno et al. [16].

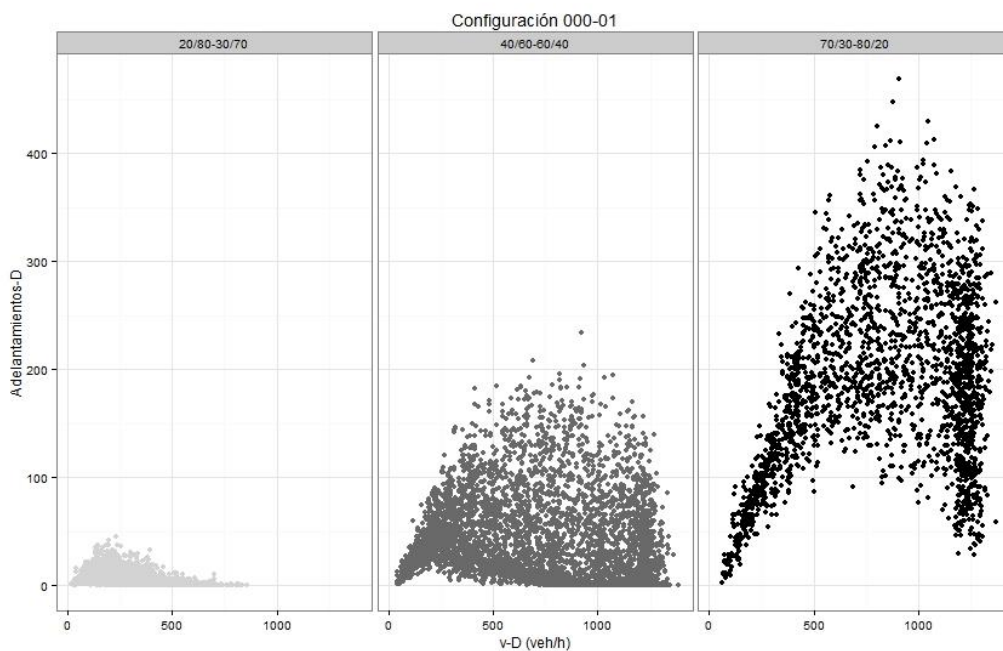


Figura 4. Número de adelantamientos en función del reparto y del volumen de tráfico direccional en la configuración 000-01

El análisis se ha repetido para cada uno de las distribuciones de zonas de adelantamiento. En la Figura 5 se relaciona el número de adelantamientos con la distribución de zonas de adelantamiento y el volumen direccional, en función del reparto.

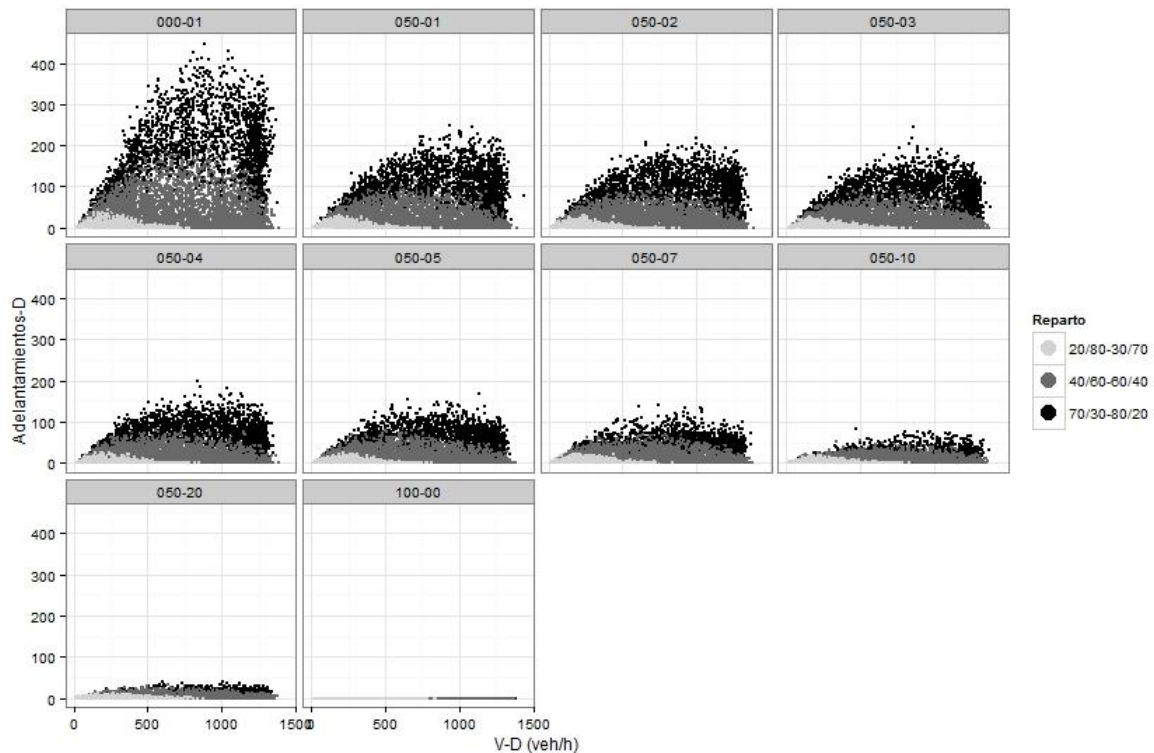


Figura 5. Número de adelantamientos en función de la distribución de zonas de adelantamiento, volumen direccional y reparto

Se puede observar que continúa existiendo un volumen direccional que maximiza el número de adelantamientos, que si bien depende del reparto, es independiente de la distribución de zonas de adelantamiento. El número máximo de adelantamientos y la dispersión en los resultados depende de la distribución de zonas de adelantamiento: un aumento de la longitud de la zona de adelantamiento incrementa el número de adelantamientos y la dispersión.

Para los escenarios con un porcentaje de zona de adelantamiento permitido del 50%, se pueden distinguir tres comportamientos en función de la longitud de las zonas de adelantamiento: zonas muy largas (2.500 m y 5.000 m), zonas intermedias (714 m, 1.000 m, 1.250 m y 1.667 m) y zonas cortas (250 y 500 m). El número máximo de adelantamientos es aproximadamente la mitad en las zonas cortas en comparación con las zonas más largas, no siendo proporcional a la longitud de la zona de adelantamiento, como ya se indicó en Moreno et al. [16], donde se concluyó que la efectividad de las zonas de adelantamiento se estabilizaba a partir de 1.100 m.

Por otro lado, se mantiene que un reparto favorable aumenta el número de adelantamientos, así como el rango de intensidad en el que las zonas de adelantamiento son efectivas, aunque estas diferencias se van reduciendo a medida que la longitud de las zonas de adelantamiento disminuye.

## 5.2 Velocidad media de recorrido

Al igual que en el número de adelantamientos, se ha realizado un primer análisis de la velocidad media en el escenario donde se permite el adelantamiento en toda la longitud (configuración 000-01). Existen diferencias en la velocidad media en función del reparto aunque son menos pronunciadas que en el



número de adelantamientos (Figura 6). A igualdad de intensidad direccional, la velocidad media es superior si el reparto es más favorable, con diferencias de 10 km/h, aproximadamente.

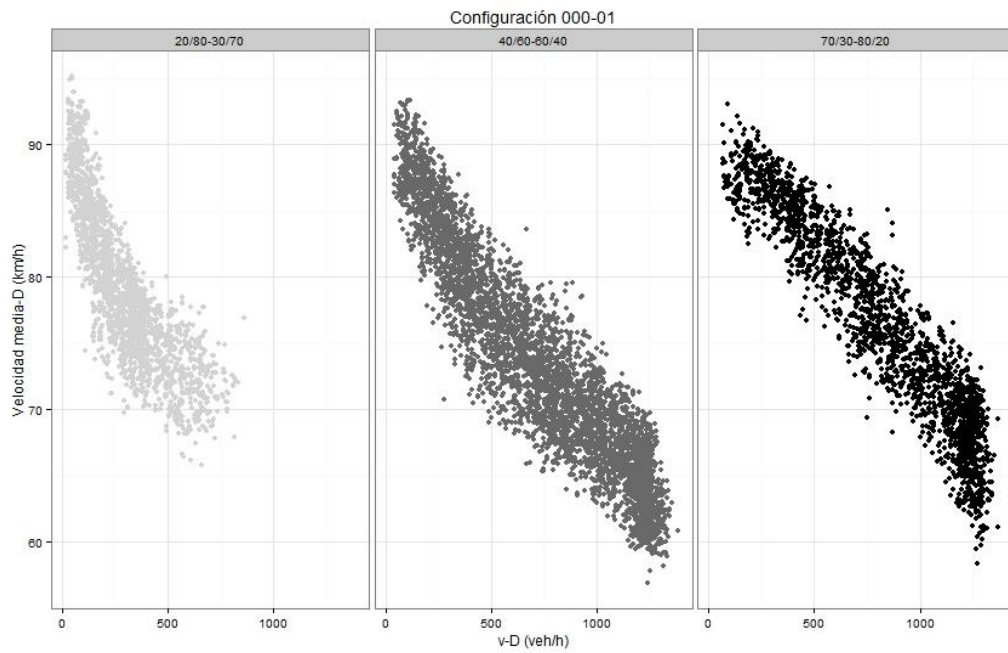


Figura 6. Velocidad media en función del reparto y del volumen de tráfico direccional en la configuración 000-01

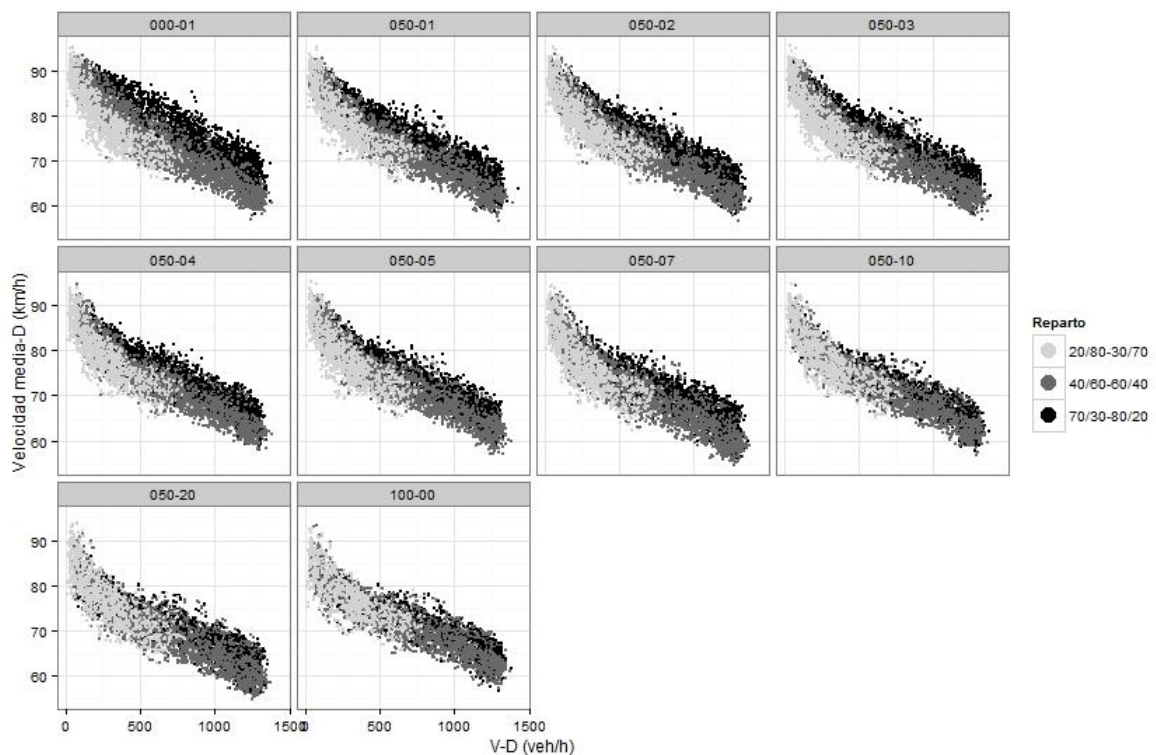


Figura 7. Velocidad media en función de la distribución de zonas de adelantamiento, volumen direccional y reparto

Por otro lado, al aumentar el volumen de tráfico disminuye la velocidad siguiendo una forma cóncava, contraria al modelo ideal convexo basado en la ecuación fundamental del tráfico que relaciona

intensidad, velocidad y densidad [1] y el modelo lineal del HCM 2010. La forma cóncava es acorde con las desarrolladas para los manuales de capacidad de Alemania [30], Finlandia [31] y Brasil [20], respectivamente, al igual que en las condiciones españolas en Madrid [32]. En repartos muy favorables, sí se observa una tendencia lineal. Estos resultados, especialmente en volúmenes de tráfico bajos, no son acordes con los obtenidos en estudios experimentales, donde la velocidad era muy poco sensible al volumen de tráfico [28].

Se repite el mismo patrón de comportamiento en función de la longitud de las zonas de adelantamiento, para igual porcentaje de zona de adelantamiento no permitido (Figura 7). Se puede observar como al reducir la longitud de las zonas de adelantamiento, la velocidad media de recorrido disminuye, especialmente cuando el reparto es muy favorable, aunque no existe tanta sensibilidad como en el número de adelantamientos.

### 5.3 Porcentaje de tiempo en cola

El porcentaje de tiempo en cola también está afectado por el reparto, a igualdad de volumen direccional (Figura 8), de forma que, en repartos más desfavorables, el porcentaje de tiempo en cola aumenta. Además, en flujos equilibrados existe una mayor dispersión que en flujos descompensados.

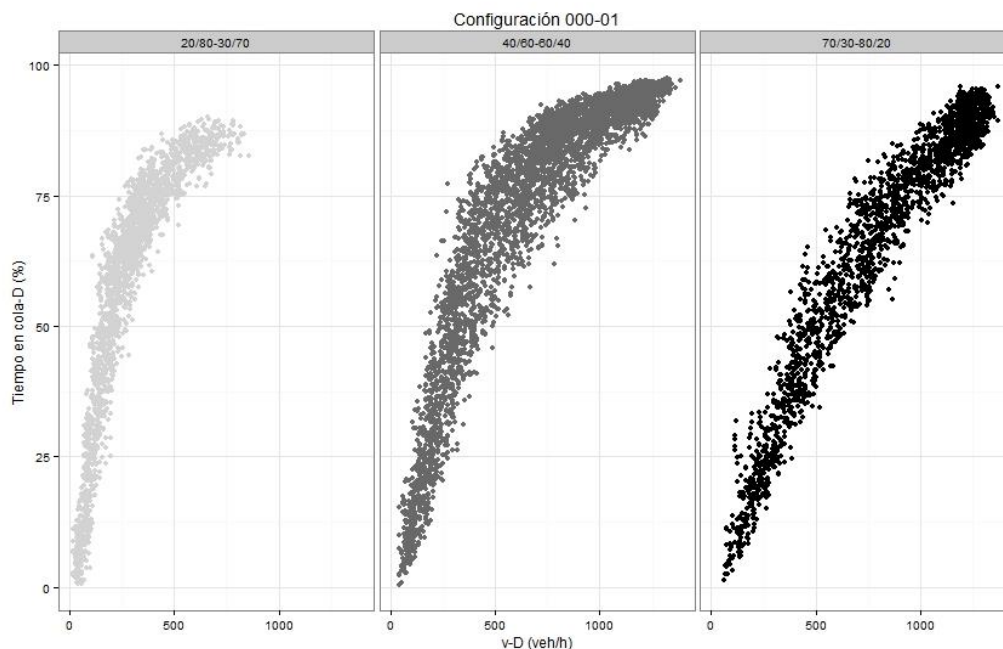


Figura 8. Porcentaje de tiempo en cola en función del reparto y del volumen de tráfico direccional en la configuración 000-01

De forma análoga al número de adelantamientos y velocidad media, el comportamiento de la variable es similar en las tres categorías de longitud de zona de adelantamiento (Figura 9).

Se puede observar que el funcionamiento de las zonas intermedias y muy largas es más parecido a un escenario donde el adelantamiento está permitido en toda la longitud, mientras que las zonas cortas tienen un comportamiento más parecido a una carretera donde no se permite el adelantamiento, a pesar de contar con el mismo porcentaje de zona de adelantamiento no permitido. Por tanto, se corrobora que esta variable única no es suficiente para determinar adecuadamente el porcentaje de tiempo en cola.

Las mayores diferencias entre la total prohibición de adelantamiento y los otros escenarios se producen con intensidad direccional de 300 veh/h, ligeramente inferior a la intensidad que optimiza el número de

adelantamientos, y se va reduciendo al aumentar el tráfico. A partir de 800 veh/h, el porcentaje de tiempo en cola es independiente de la distribución de las zonas de adelantamiento.

Finalmente, la influencia de los vehículos pesados es superior que en las anteriores variables: al incrementar el porcentaje de vehículos pesados, el porcentaje del tiempo en cola aumenta.

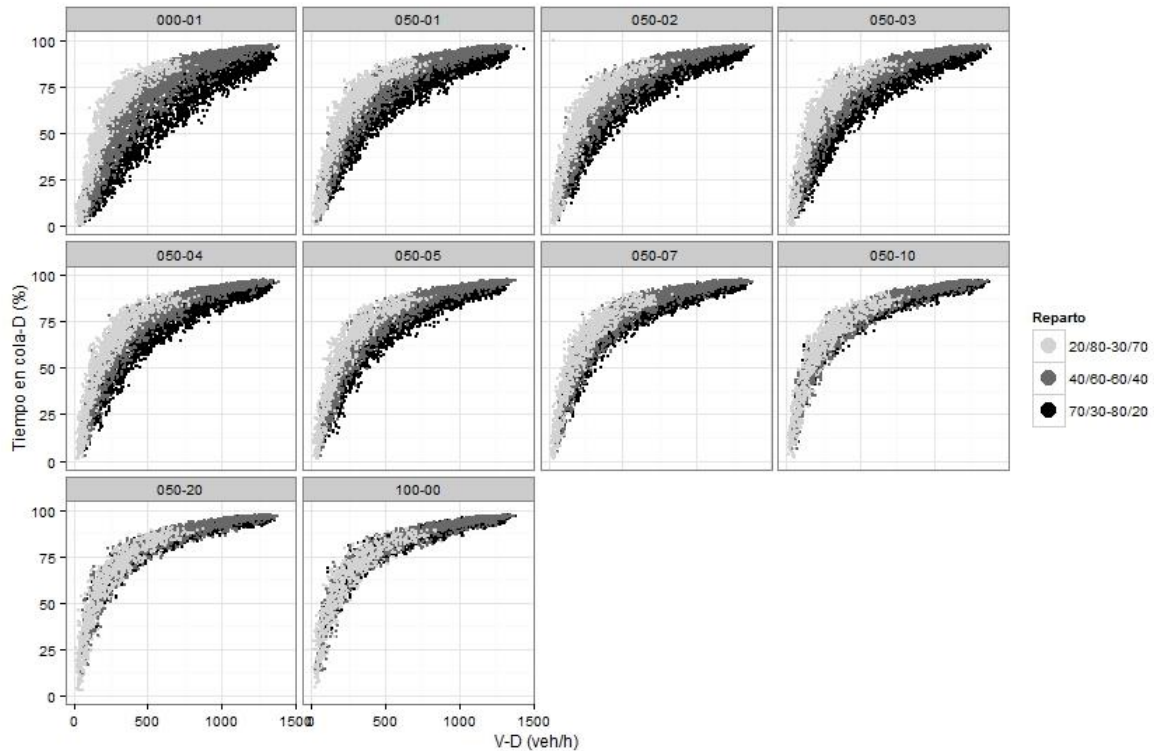


Figura 9. Porcentaje de tiempo en cola en función de la distribución de zonas de adelantamiento, volumen direccional y reparto

#### 5.4 Porcentaje de vehículos en cola

Además del porcentaje de tiempo en cola, se ha calculado el porcentaje de vehículos en cola, como medida indirecta del porcentaje de tiempo en cola (TRB, 2010). Se pueden obtener conclusiones similares a las del porcentaje de tiempo en cola, aunque la dispersión de los resultados es muy superior, luego esta variable puede inducir a error si se emplea para estimar el porcentaje de tiempo en cola, tanto en la configuración donde se permite el adelantamiento en toda la longitud (Figura 10) como en las que está restringido el adelantamiento (Figura 11).

Por otro lado, se observa que no alcanza el 100%, lo cual sugiere que en congestión los vehículos pueden mantener huecos más elevados a 3 segundos y estar en seguimiento. En consecuencia, sería recomendable revisar el criterio para determinar el porcentaje de vehículos en cola y obtener el umbral que produzca mayores semejanzas con el porcentaje de tiempo en cola.

Debido a la mayor dispersión de los resultados, no se pueden apreciar diferencias significativas en función de la distribución de las zonas de adelantamiento, que sí son patentes en las restantes variables.

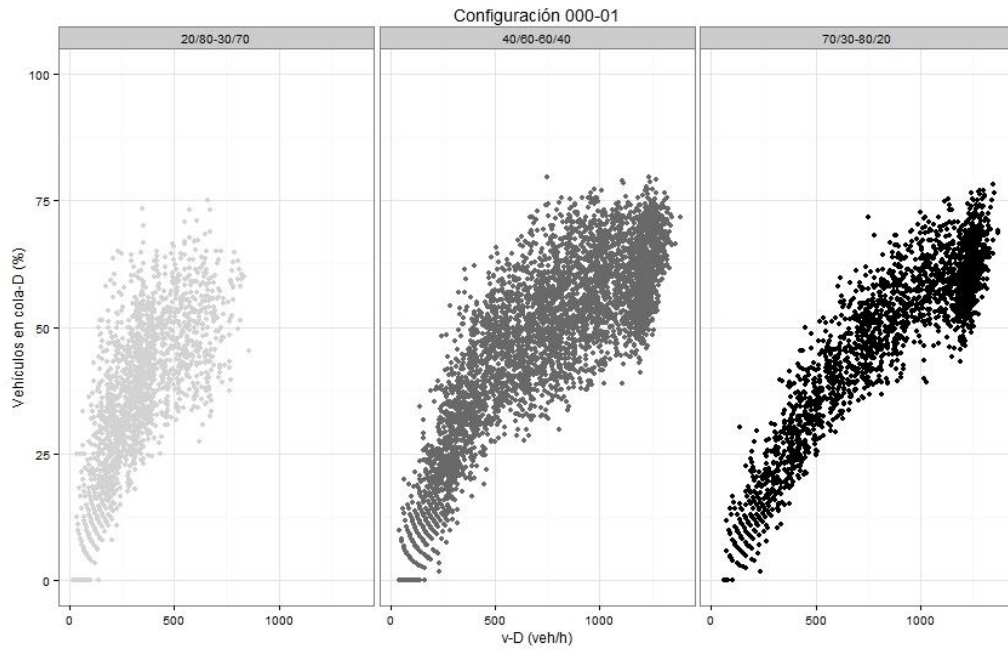


Figura 10. Porcentaje de vehículos en cola en función del reparto y del volumen de tráfico direccional en la configuración 000-01

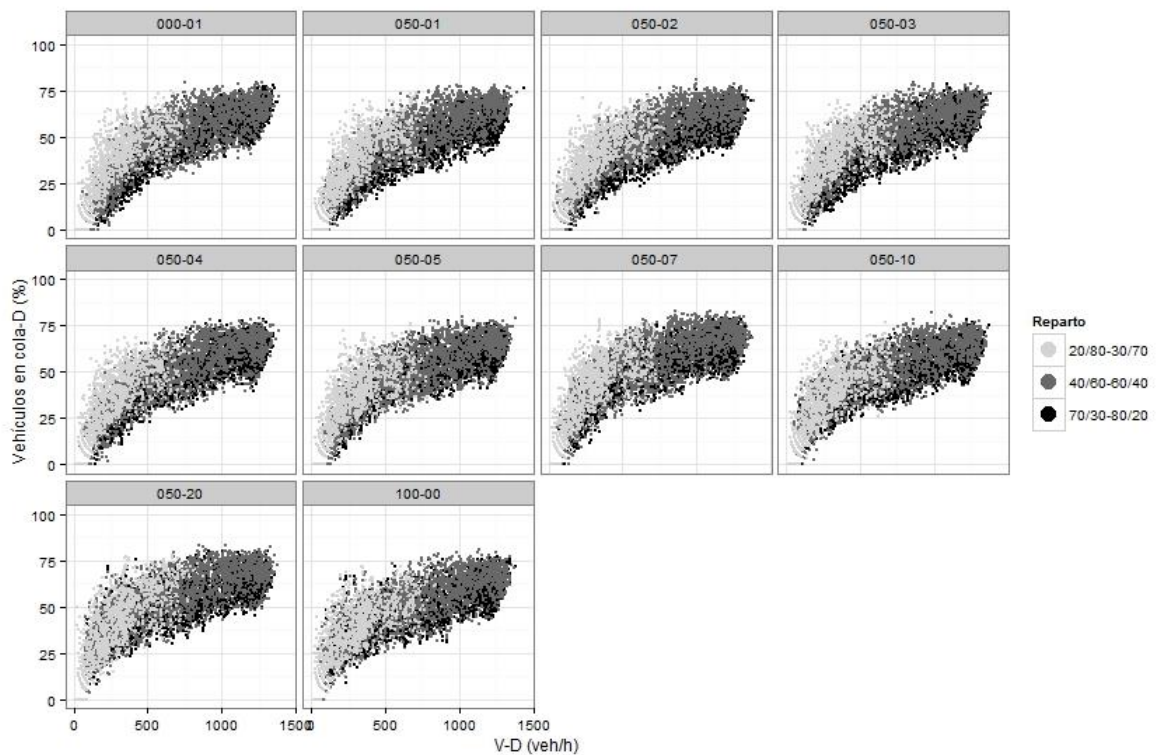


Figura 11. Porcentaje de vehículos en cola en función de la distribución de zonas de adelantamiento, volumen direccional y reparto

## 6. CONCLUSIONES

La evaluación de la calidad del tráfico en carreteras convencionales se realiza en España con la metodología propuesta en el Manual de Capacidad americano (HCM 2010). En esta investigación, se ha calibrado y validado el modelo de microsimulación TWOPAS con datos de campo de

adelantamientos en España para analizar la influencia de la distribución de las zonas de adelantamiento en las medidas de desempeño del HCM 2010. Para la calibración del modelo, se realizaron más de 800.000 simulaciones, mientras que posteriormente se generaron 91.485 escenarios variando el tráfico y la distribución de las zonas de adelantamiento en un segmento de carretera ideal de 10 km. En base a los resultados de esta investigación, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El número de adelantamientos se maximiza para una intensidad direccional entre 400 y 500 veh/h, en flujos compensados. La efectividad de las zonas de adelantamiento no es proporcional a su longitud y se pueden establecer tres niveles de comportamiento similar, en cuanto a número total de adelantamientos: zonas cortas ( $L < 500\text{m}$ ), zonas intermedias ( $500 < L < 2.500\text{ m}$ ) y zonas muy largas ( $L > 2.500\text{ m}$ ).
- El porcentaje de zona de adelantamiento no permitido no es suficiente para explicar el efecto de los adelantamientos en el porcentaje de tiempo en cola y en la velocidad media de recorrido. En tramos simulados con el 50% de adelantamiento permitido, las distintas configuraciones de zonas de adelantamiento mostraron valores muy diferentes en algunas medidas de desempeño.
- La relación entre la velocidad media de recorrido e intensidad direccional es cóncava, acorde con las obtenidas previamente en España, así como en Alemania, Finlandia y Brasil. El modelo lineal del HCM 2010 debería sustituirse por un modelo cóncavo. No se han observado diferencias significativas en función del porcentaje de pesados.
- El porcentaje de tiempo en cola tiene una forma exponencial, como en el HCM 2010, y se ve afectado significativamente por el porcentaje de pesados y la distribución de las zonas de adelantamiento. Además, es independiente a la distribución de las zonas de adelantamiento para intensidad direccional superior a 800 veh/h, para flujos compensados.

Tras el análisis descriptivo de los resultados, se realizará el análisis estadístico que proporcionará los modelos de velocidad media de recorrido y porcentaje de tiempo en cola, considerando el análisis direccional, por la influencia notable del reparto. Además, se considerarán otras medidas de desempeño, como la densidad de seguidores, debido a la dificultad de determinar en campo el porcentaje de tiempo en cola y la elevada dispersión obtenida en el porcentaje de vehículos en cola. Finalmente, los modelos obtenidos con TWOPAS se compararán con modelos generados a partir de simuladores con distinto módulo de adelantamientos, como CORSIM o Aimsun, calibrados y validados con los mismos datos de campo, con el fin de corroborar la posible influencia del modelo de microsimulación en los resultados.

## AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de esta investigación se enmarca dentro del proyecto “Desarrollo de modelos de distancias de visibilidad de adelantamiento”, con referencia TRA2010-21736, subvencionado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

## REFERENCIAS

- [1] TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Highway Capacity Manual, 2010.
- [2] HARWOOD, D., MAY, A., ANDERSON, I., LEIMAN, L. y ARCHILLA, R.(1999). *Capacity and Quality of Service of Two-Lane Highways*. Transportation Research Board.
- [3] COURAGE, K., ELEFTERIADOU, L., WASHBURN, S., y NAM., D. (2007). Draft Working Paper 385-9 from the NCHRP 3-85 “*Guidance for the Use of Alternative Traffic Analysis Tools in Highway Capacity Analyses*”.
- [4] WASHBURN, S., LI, J. y HAMMONTREE, H. (2012). Final Report “*Development of an Analytical Methodology for Two-Lane Highway Facility Analysis*”.
- [5] LUTTINEN, T. (2001). *Uncertainty in the Operational Analysis of Two-lane Highways*. TL Consulting Engineers.

- [6] POLUS, A., LIVNEH, M. y FISCHER, B. (2000). Evaluation of the Passing Process on Two-Lane Rural Highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1701, pp. 53-60.
- [7] CARLSON, P. J., J. D. MILES y JOHNSON, P. K. (2006). Daytime High Speed Passing Maneuvers observed on Rural Two-Lane, Two-Way Highway: Findings and Implications, *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, No. 1961, pp. 9.
- [8] HARWOOD, D., GILMORE, D., RICHARD, K., DUNN, J. y SUN, C. (2008). *NHCRP 605 Passing Sight Distance Criteria*. Transportation Research Board.
- [9] HARWOOD, D.W., GILMORE, D.K., y RICHARD, K.R. (2010). Criteria for passing sight distance for roadway design and marking. *Transportation Research Record* 2195, pp. 36-46.
- [10] LLORCA, C., MORENO, A.T., GARCIA, A. y PEREZ-ZURIAGA, A.M. (2013). Observations of Daytime and Nighttime Passing Maneuvers on Two-Lane Rural Road in Spain. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2358, pp. 3-11.
- [11] LLORCA, C., MORENO, A.T., SAYED, T. y GARCIA, A. (2014). Risk Evaluation of Passing Sight Distance Standards Based on Observational Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.
- [12] KAUB, A. (1990). Passing Operations on a Recreational Two-Lane, Two-Way Highway, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1280, pp. 156-162.
- [13] MORRAL, J. y WERNER, A. (1990). Measuring Level of Service of Two-Lane Highways by Overtakings, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1287, pp. 62-69.
- [14] ROMANA, M. G. (1999). Passing Activity on Two-Lane Highways in Spain, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1678, pp. 90-95.
- [15] HEGEMAN, G. Overtaking Frequency. (2004). *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*.
- [16] MORENO, A.T., LLORCA, C., GARCÍA, A. y PÉREZ-ZURIAGA, A.M. (2013). Operational Effectiveness of Passing Zones depending on their Length and Traffic Volume. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2395, pp. 57-65.
- [17] BARCELÓ, J. (2010). *Fundamentals of Traffic Simulation*. Ed. Springer New York.
- [18] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. (2004). Traffic Analysis Toolbox Volume III: guidelines for applying traffic microsimulation modeling software.
- [19] EGAMI, C.Y., MON-MA, M.L., SETTI, J.R., y RILETT, L.R. (2006). Automatic calibration of two-lane highway traffic simulation models using a genetic algorithm. *9<sup>th</sup> International Conference on Applications of Advanced Technology in Transportation*.
- [20] BESSA, J. y SETTI, J.R. (2011). Derivation of ATS and PTSF Functions for Two-lane, Rural Highways in Brazil, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 16, pp. 282-292.
- [21] VALENCIA, V. y GARCIA, A. (2010). Procedures to Facilitate Passing on Conventional Highways by Means of Simulation. *4<sup>th</sup> International Symposium on Highway Geometric Design*, España.
- [22] LI, J., y WASHBURN, S. (2011). Implementing Two-Lane Highway Simulation Modeling into CORSIM. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 16, pp. 296-305.
- [23] KIM, J., y ELEFTERIADOU, L. (2010). Estimation of capacity of two-lane two-ways highways using simulation model. *Journal of Transportation Engineering* 136(1), pp. 61-66.
- [24] DEY, P., CHANDRA, S., y GANGOPADHYAY, S. (2008). Simulation of Mixed Traffic Flow on Two-Lane Roads. *Journal of Transportation Engineering* 134(9), pp. 361-369.
- [25] HEGEMAN, G., TAPANI, A., y HOOGENDOOM, S. (2009). Overtaking assistant assessment using traffic simulation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 17(6), pp. 617-630.
- [26] GHODS, A.H., y SACCOMANNO, F. (2013). Safety Implications of Truck/Car Speed Limits for Two-Lane Highway Operations. *92<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Estados Unidos.
- [27] AIMSUN. (2014). Obtenido de <http://www.aimsun.com/wp/?p=5088>, 24/02/2014.
- [28] MORENO, A.T., LLORCA, C., SAYED, T. y GARCÍA, A. (2014). Field Evaluation of Traffic Performance Measures for Two-Lane Highways in Spain. *93<sup>rd</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Estados Unidos.
- [29] ITT CORPORATION. (2010). *Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) Traffic Analysis Module Engineer's Manual*, Federal Highway Administration.
- [30] BRILON, W. y WEISER, F. (2006). Two-Lane Rural Highways: The German Experience, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1988, pp. 38-47.
- [31] LUTTINEN, T. (2000). Level of Service on Finnish Two-Lane Highways, *Transportation Research Circular E-C018: Fourth International Symposium on Highway Capacity*.

[32] NUÑEZ, M. y ROMANA, M.G. (2011). Propuesta de modelo de función intensidad-velocidad en la Comunidad de Madrid. *Revista Carreteras* 175, pp. 78-87.

## **Adaptation of the Highway Capacity Manual to Spanish Two-Lane Highways**

**Ana Tsui Moreno**

Research Assistant

Highway Engineering Research Group (HERG), Universitat Politècnica de València, Spain

Camino de Vera, S/N 46071 Valencia, e-mail: [anmoch@cam.upv.es](mailto:anmoch@cam.upv.es)



## **ABSTRACT**

The Highway Capacity Manual (HCM 2010) methodology is used in Spain to evaluate traffic operation and quality of service. The effect of passing in two-lane highways is considered through adjustment factors to the average speed and the percent time spent following. They depend on the percentage of no passing zones and were obtained through simulations in TWOPAS, which was calibrated with field data from the 70's.

The objective of this research is to adapt the HCM 2010 methodology to Spanish driver behavior. Current passing behavior was documented. Then, TWOPAS was calibrated and validated using genetic algorithms. The model was applied to an ideal two-lane highway varying directional traffic flow, directional split and percentage of no passing zones. More than scenarios were evaluated. New adjustment factors were modelled based on the percentage of no-passing zones.

**Keywords:** Traffic operation, Two-lane highway, Percentage time spent following, Average speed, Percent followers, Genetic algorithm.

## **1. INTRODUCTION**

Two-lane highways have a level of interaction between vehicles traveling in the same and in opposing direction that results in unique operational characteristics; mainly because faster vehicles that want to travel at their desired speed face the oncoming traffic in the opposite lane and may suffer delays because of their inability to pass slow-moving vehicles. Thus, the possibility of performing passing maneuvers usually increases perceived level of service due to delay reduction.

In order to analyze the level of service, Spanish standards rely on the procedures in the US Highway Capacity Manual (Transportation Research Board 2010). For two-lane highways, the level of service is based on three performance measures: average travel speed, percent time spent following and percent free flow speed. The effect of passes is reflected on adjustment factors to the performance measures, obtained from simulations in TWOPAS. Passing maneuvers in TWOPAS were modeled based on field data collected in the 1970s (Harwood et al. 1999) and no indications on the precision of the adjustment or how passing zones where distributed were given (Luttinen 2001b). Consequently, there is a need to document current passing behavior and relate it to traffic performance, as identified by the subcommittee

on two-lane highways of the Transportation Research Board (Two-Lane Highways Subcommittee 2007). Local adaptations of the HCM methodology were performed in Germany (Brilon & Weiser 2006), Finland (Luttinen 2001a), Brazil (Bessa & Setti 2011) and Argentina (Maldonado et al. 2012).

Previous passing studies were theory-based (Wardrop 1952; Daganzo 1975; Troutbeck 1982) and field studies (Dommerholt & Botma 1988; Kaub 1990; Morrall & Werner 1990; Romana 1999; Hegeman 2004; Mwesige et al. 2014). Theoretical models estimate higher passing frequencies than field studies. Moreover, differences on traffic flows, directional split, passing zone length and perhaps driver behavior resulted in high dispersion on the number of passes observed in field. The studies in Spain (Romana 1999; Moreno et al. 2013), found that passing was maximized for balanced flows between 600 and 800 veh/h. However, the number of passing maneuvers was not related to traffic performance.

Unfortunately, field measurements can be expensive and most importantly, they do not provide sufficient repeatability for all the traffic volume range; so the conclusions may only be applicable on the observed conditions. Therefore, traffic microsimulation may be needed. Microsimulation models must be calibrated and validated with field data in order to minimize the differences between the observed and simulation results (Federal Highway Administration 2004; Egami et al. 2006; Barcelo 2010). Not all the traffic microsimulation models can accommodate passing maneuvers. The Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) includes a passing model as part of the Traffic Analysis Module (TAM, previously named TWOPAS). This model was used to determine the adjustment factors of the HCM (Harwood et al. 1999). Recent studies calibrated TWOPAS with field data to analyze ATS and PTSF in Brazil (Bessa & Setti 2011), the addition of climbing lanes to facilitate passing (Valencia-Alaix & García 2010) or the operational contribution of short passing zones (Harwood et al. 2008).

Besides TWOPAS, CORSIM (Li & Washburn 2011), TWOSIM (Kim & Elefteriadou 2010), RutSim (Tapani 2005; Hegeman et al. 2009), OTSIM (Ghods & Saccomanno 2014) and Aimsun (Llorca et al. 2014) have incorporated passing maneuvers to the two-lane highway module. TRARR was also developed specifically for two-lane highways and was used in Australia in the past, but the ARRB is not planning any further development of TRARR (Koorey 2002).

### **Research motivation**

To sum up, even though traffic operations have been deeply studied, there is a need to evaluate traffic performance considering passing zones and traffic characteristics. To do so, current passing behavior

along passing zones must be documented. Moreover, field data should be used to calibrate and validate a traffic microsimulation model to increase the scope of the conclusions. The model should cover the whole range of traffic volume, directional split and traffic composition on the same highway; as well as passing zone frequency and location. The results could be applied to evaluate traffic operations in Spanish two-lane highways.

## **2. OBJECTIVES**

The aim of the research is to adapt the Highway Capacity Manual to Spanish two-lane highways. To do so, the following objectives were identified:

- To document current passing behavior in Spanish two-lane highways.
- To calibrate and validate TWOPAS by using genetic algorithms.
- To generate and simulate multiple scenarios in TWOPAS varying directional traffic flow, directional split and percentage of no-passing zones.
- To model average travel speed and percent time spent following based on traffic conditions and passing restrictions.

## **3. FIELD STUDY**

Data were collected in four passing zones located along one Class I two-lane highway in Spain (N-225). Selection criteria included wide two-way traffic volume range (120 – 900 veh/h); directional split (50/50-30/70), traffic composition (5-30 % of heavy vehicles); and passing zone length (285-1270 m). Design speed, as well as posted speed limit, was 100 km/h and annual average daily traffic (AADT) was 5,577 veh/day in 2010. The data was previously used to model the number of passing maneuvers (Moreno et al. 2013), to calibrate alternative performance measures (Moreno et al. 2014) and to obtain passing duration time and time to collision (Llorca et al. 2013). The number of passing maneuvers was validated with 12 additional passing zones in Valencia (Moreno et al. 2013).

Video recordings were used at the beginning and end of the passing zones. The videos were individually analyzed to obtain the time stamp of each vehicle. Directional traffic volume, traffic composition, average travel time and time headway were obtained. The 3-second criterion of the HCM 2010 was used to determine followers (Transportation Research Board 2010). Moreover, passing maneuvers were calculated comparing the vehicles' sequence.

The counting period was 5 minutes and the results were aggregated in 15 minutes as the sum of three overlapping consecutive 5-minute period in order to skip the error of peak 15-minute period overlapped on two 15-minute counting periods (Luttinen 2002). Then, equivalent hourly data were calculated based on the 15-minute data. For each counting period was obtained: directional traffic volume, traffic composition, average travel speed, speed distribution of passenger cars, speed distribution of heavy vehicles, number of passes, percent followers at the beginning and end of passing zones.

#### **4. TRAFFIC MICROSIMULATION IN TWOPAS**

##### **Calibration scenarios**

Horizontal and vertical alignments of N-225 were recreated using an specific software (Camacho-Torregrosa et al. 2014). The entry data were GPS tracks with 10 Hz frequency. Cross section, available sight distance, no-passing zones and posted speed limit were also characterized. TWOPAS default values of minimum passing sight distance, driver's eye height, object height and vehicle characteristics were adapted to the Spanish conditions. Mean desired speed and standard deviation were estimated based on the unimpeded speed distributions.

Seven of the thirteen vehicle types were used: 5 passenger cars (subcompact car, compact car, midsize car, van, SUV) and 2 heavy vehicles (two axle, three or more axles). For passenger cars, maximum acceleration and overall length were adjusted. For heavy vehicles, weight/net horsepower ratio, weight/projected frontal area ratio and overall length were adjusted. Percent of vehicles were also assigned based on the observations.

For the calibration, 30 non-overlapped counting periods were used, and the 60 remaining periods were left for validation.

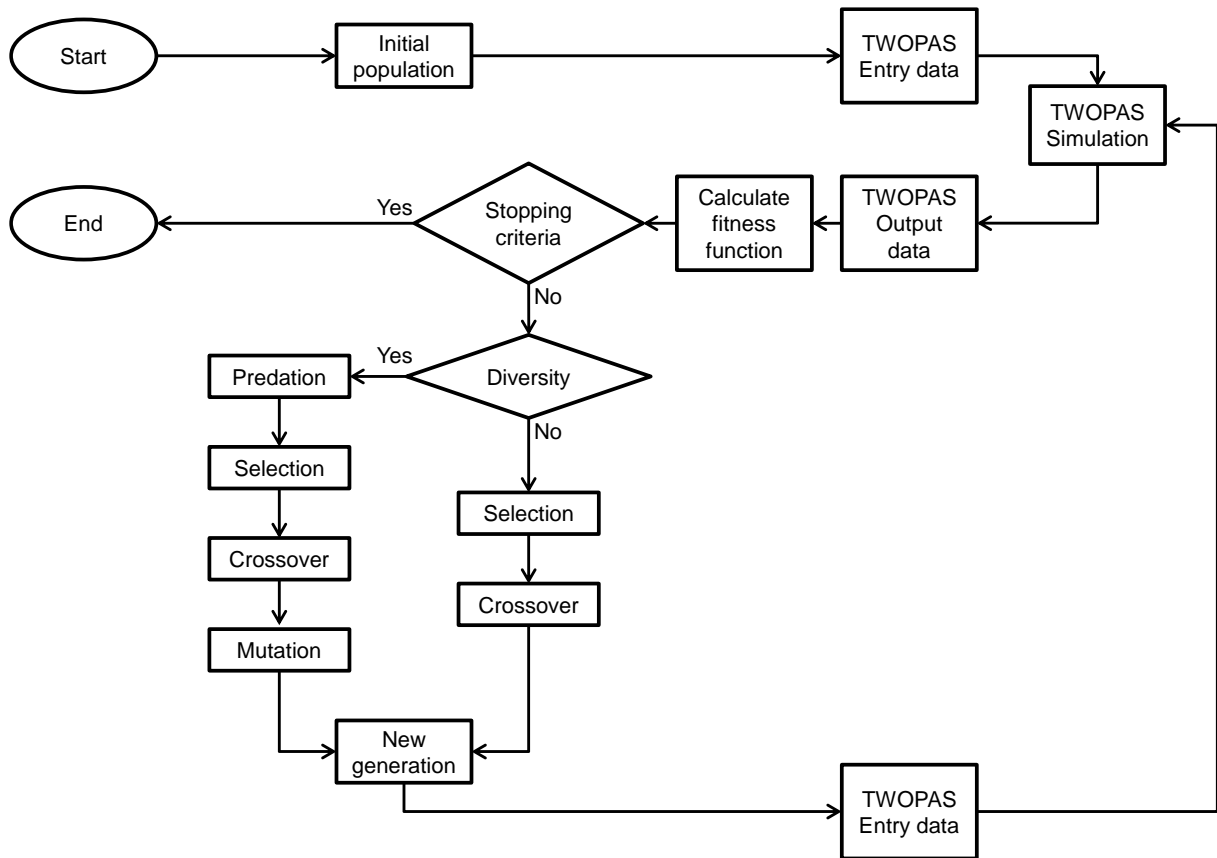
##### **Calibration with genetic algorithms**

As result of calibrating the model, the combination of parameters that minimize the differences between simulation and field data is obtained. To do so, genetic algorithms were used. This optimization technique mimics the process of natural selection. The algorithm starts from a random population of individuals. In each generation, the fitness of every individual in the population is evaluated and fitter solutions are more likely to be selected to breed the new generation. To generate a new individual, two parents cross their genetic material. The new generation substitutes the previous generation and it is used in the next iteration of the algorithm. Mutation is introduced to diversify the individuals and avoid

local minima. Good combination of crossover and mutation may lead to the optimum solution. Elitist selection (the best individual is carried over to the next) and predation (substitute the worst fitted individuals by new random individuals) were added. Stopping criteria include: maximum number of generations, minimum error threshold; or improvement error threshold.

For the research, the genetic algorithm from (Bessa & Setti 2011) was adapted. It includes crossover, mutation, elitism and predation (Figure 1).

Figure 1. Generic algorithm



Calibration parameters, fitness function and genetic parameters were adapted. The calibration parameters included:

- Passing reconsider probability (PREC): probability that simulation driver will reconsider starting a pass during one review period. Default value of 0.2.
- Car following factor (ZKCOR): proportionality constant used in calibrating the car following model. Default value of 0..8.

- Stochastic driver type factor (BKMP1 to BKMP10). Multiplicative parameter from a stochastic distribution of time headways used in car following. Default values from 0.43 to 2.12 seconds.

The fitness function depended on 20 parameters (10 per direction):

- Number of passes.
- Percent followers at the end of the segment (3 second headway criterion)
- Average speed of passenger cars and trucks.
- Standard deviation of speed of passenger cars and trucks.
- Percentile 15 and 85 from speed distributions of passenger cars and trucks.

Three combinations of weights were tested. The best combination was then applied to the algorithm (58 % passes, 30 % percent followers, 12 % speeds).

The genetic parameters were selected based on previous sensitivity analyses with 20 generations and 3 combination of parameters. The best combination was mutation probability of 0.4, 30 % of predation and diversity every 4 generations.

The genetic algorithm was executed in 80 generations of 40 individuals, 5 random seeds and 30 traffic scenarios. The total number of simulations was 480.000. Each simulation was 15 minute long, with 15 minute warm-up. The minimum error was reduced from 7.9 % to 3.8 %.

### **Validation**

The 25 best combinations of calibration parameters were validated with additional field data (60 traffic scenarios). The average error was 4.3 %, very close to the calibration error.

### **Case study scenarios**

The case study included one ideal straight segment 10 km long. The percent grade was 0.5 %. No passing zones and traffic variables varied as follows:

- Percentage of no passing zones: 0, 50 and 100 %. The passing zone is located in the middle of the segment.
- Directional split: 20/80; 30/70; 40/60; 50/50; 60/40; 70/30; 80/20.
- Directional traffic volume: between 100 and 1700 veh/h, with steps of 50 veh/h. Opposing traffic volume was calculated and limited to 1700 veh/h or two-way traffic volume of 3200 veh/h.
- Percentage of heavy vehicles: 0, 10, 20 and 30 %.

- Replicability: 15. Random seeds were selected among 25 and combination of calibration parameters among the best 50 combinations.

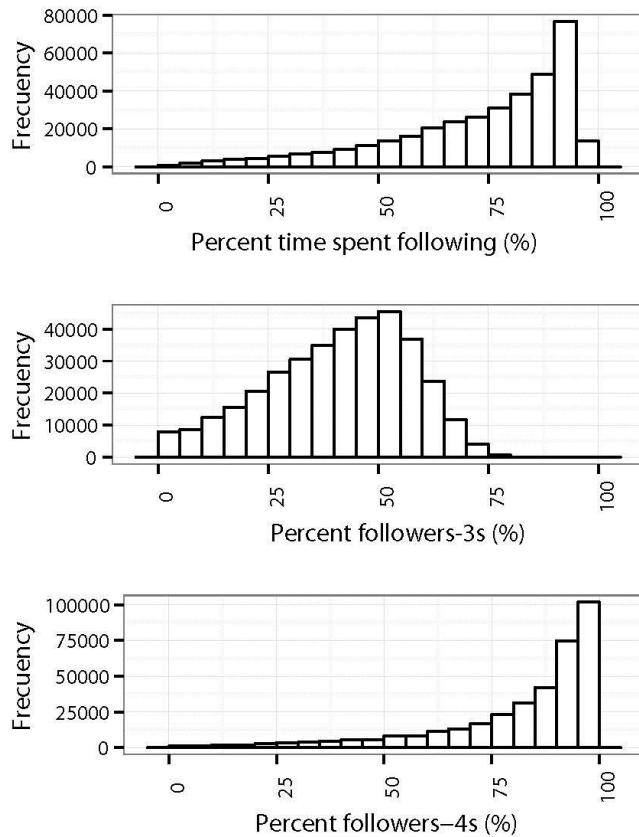
The total number of simulations was 29700 (59600 directional scenarios). The maximum directional traffic volume was 1540 veh/h, as higher traffic volumes stilled TWOPAS. Therefore, the number of valid directional scenarios was reduced to 57284.

## 5. ANALYSIS OF THE RESULTS

Two performance measures were analyzed: average travel speed (ATS) and percent time spent following (PTSF). The values were obtained from the output file of TWOPAS (\*.OUT.).

Percent followers (PF) was also calculated based on the headway distributions at the end of the segment, using 3 and 4 seconds as criterion (PF, PF4). As seen in Figure 2, the distributions of PF and PTSF are very different in shape and value.

Figure 2. Performance measures. Histograms



The average PF was 40 %, compared to 73 % in PTSF. The maximum values were also very different: 84 and 100 %. The distribution of PF4 was closer to PTSF but has lower sensitivity to traffic variables. The same conclusions were obtained for all the individual scenarios. Consequently, the three second headway criterion is not completely related to PTSF and should be used as surrogate measure for PTSF with caution.

### 5.1 Base conditions

Average travel speed (ATS) and percent time spent following (PTSF) were firstly modelled for base conditions (no passing restrictions, 0 % NPZ).

Three linear models were considered for ATS (Equations 1a to 1c). They differ on the scale of directional and opposing traffic volume: natural or square root

$$ATS_{base} = V_d + V_o + HV_d + V_d \cdot V_o + V_d \cdot HV_d \quad (1a)$$

$$ATS_{base} = \sqrt{V_d} + V_o + HV_d + \sqrt{V_d} \cdot V_o + \sqrt{V_d} \cdot HV_d \quad (1b)$$

$$ATS_{base} = \sqrt{V_d} + \sqrt{V_o} + HV_d + \sqrt{V_d} \cdot \sqrt{V_o} + \sqrt{V_d} \cdot HV_d \quad (1c)$$

The models considered all the possible combinations among the 5 independent variables (directional traffic volume, opposing traffic volume, percentage of trucks, interaction between traffic volumes and interaction between directional traffic volume and percentage of trucks). The 96 resulting models were executed in R. Then, AIC (Akaike Information Criteria), correlation between fitted values and simulation values, beta parameters, p-value of the variables and number of parameters were used to determine the best model.

The best model was the linear model from the HCM2010 considering directional traffic volume, opposite traffic volume and percent of heavy vehicles (Equation 2). The correlation between fitted and simulation values was 94 % and pseudo R2 was 88.5 %. The statistics summary is in Table 1.

$$ATS_{base} = 89.52 - 0.01504 \cdot V_d - 0.0064 \cdot V_o - 0.0522 \cdot HV_d \quad (2)$$

Where:  $ATS_{base}$  is average travel speed (km/h),  $V_d$  is directional traffic volume (veh/h);  $V_o$  is opposing traffic volume (veh/h);  $HV_d$  is percentage of heavy vehicles (%).



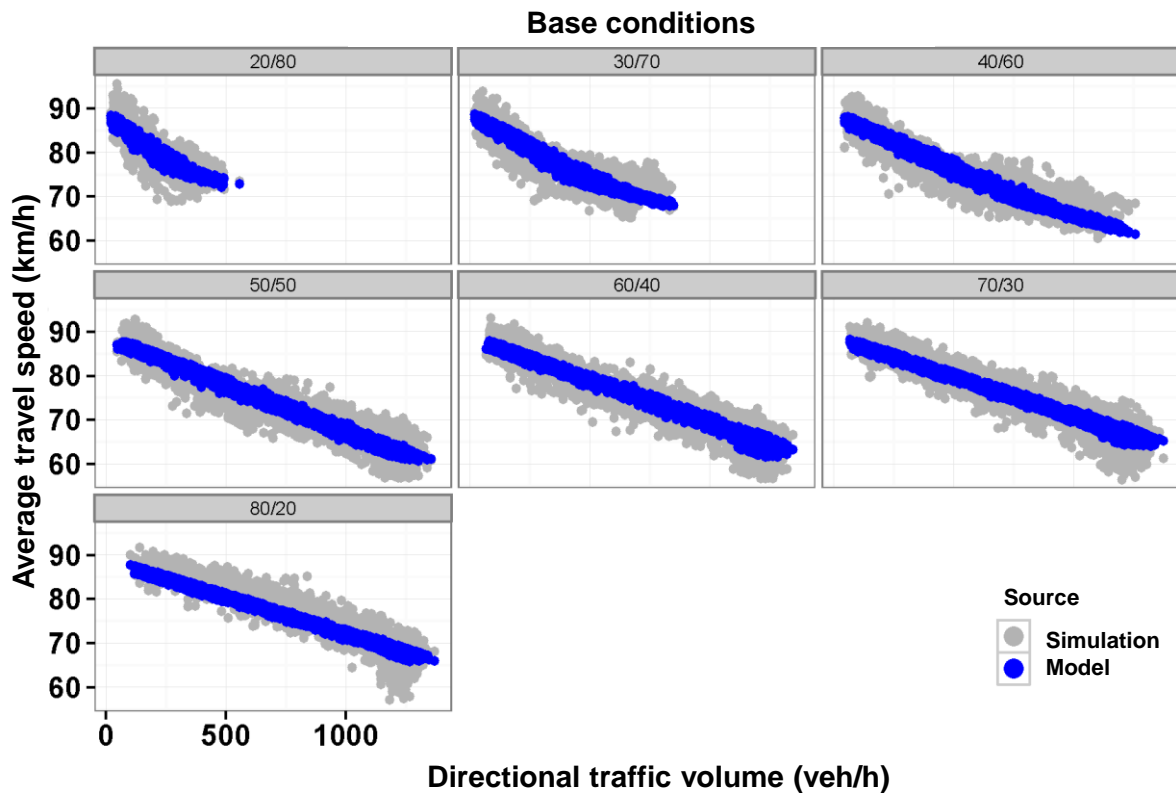
Table 1. Summary of statistics – ATS model in base conditions

Variable	Estimate	Std. Error	T value	Pr(< t )
Intercept	8.952E+01	4.94E-02	1.81E+03	0.00E+00
Vd	-1.504E-02	5.30E-05	-2.84E+02	0.00E+00
Vo	-6.441E-03	5.30E-05	-1.22E+02	0.00E+00
HVd	-5.221E-02	1.64E-03	-3.19E+01	2.31E-217

Null deviance: 130510 on 18975 degrees of freedom  
 Residual deviance: 1136738 on 18978 degrees of freedom  
 AIC: 90464  
 Correlation: 0.941

The adjustment to the simulation results is fair for favorable directional splits (Figure 3), where the average speed is linear. For directional splits lower than 40/60, concave curves would be preferred as the model fails to identify properly the deflection. The presence of trucks reduces ATS; however the effect is lower than other variables.

Figure 3. ATS for base conditions



On the other hand, 4 models were considered for PTSF: HCM 2010 model (Equation 3a); Argentinian and Brazilian model (Equation 3b); Finnish model (Equation 3c) and linear model (Equation 3d).

$$PTSF_{base} = 100 \cdot (1 - \exp(a \cdot V_d^b)) \quad (3a)$$

$$PTSF_{base} = V_d^a \cdot \exp(b - c \cdot V_d) \quad (3b)$$

$$PTSF_{base} = 100 \cdot (1 - \exp(a \cdot V_d + b \cdot \sqrt{V_o})) \quad (3c)$$

$$PTSF_{base} = \ln(V_d) + \ln(V_o) + HV_d + \ln(V_d) \cdot \ln(V_o) + \ln(V_d) \cdot HV_d \quad (3d)$$

Where: PTSFbase is percent time spent following (%),  $V_d$  is directional traffic volume (veh/h);  $V_o$  is opposing traffic volume (veh/h);  $HV_d$  is percentage of heavy vehicles (%); and a,b,c are coefficients.

In Equations 3a and 3b, the coefficients depended on the opposing traffic volume and were obtained from tables. In this study, the coefficients were modelled as well. The best fit included the opposing traffic volume and its logarithm. Therefore, the non-linear models were executed with explicit values of the parameters a, b and c. The non-linear models were executed in R. The linear model (Equation 3d) included all the possible combinations among the 5 independent variables. The 96 resulting linear models were also executed in R.

The selection of the best model included the comparison of AIC and correlation between fitted values and simulation values, among other statistics. The linear model produced the worse results, as well as the Finnish model. AIC of the HCM2010 model was very close to the optimum AIC from the Brazilian model; however, the HCM2010 was simpler and produced similar correlation to the simulation values. Therefore, the HCM2010 model was selected (Equation 4a). The modelled parameters are shown in Equations 4b and 4c. The correlation was 98 %. The statistics summary is in Table 2.

$$PTSF_{base} = 100 \cdot (1 - \exp(a \cdot V_d^b)) \quad (4a)$$

$$a = -2.12 \cdot 10^{-3} - 3.48 \cdot 10^{-5} \cdot V_o + 6.15 \cdot 10^{-4} \cdot \ln(V_o) \quad (4b)$$

$$b = 1.33 - 2.23 \cdot 10^{-5} \cdot V_o - 0.1 \cdot \ln(V_o) \quad (4c)$$

Where: PTSFbase is percent time spent following (%),  $V_d$  is directional traffic volume (veh/h);  $V_o$  is opposing traffic volume (veh/h).

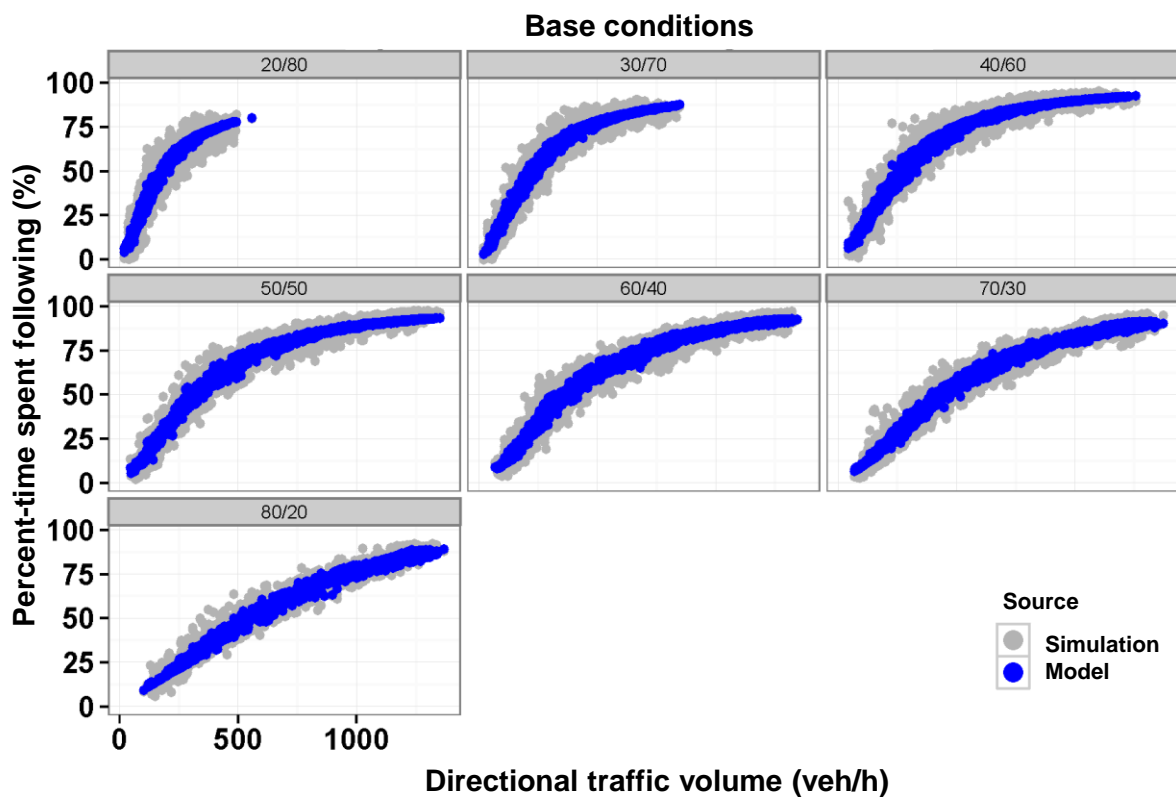
The adjustment to the simulation results is good in all the scenarios (Figure 4) and the model is adjusted to the average PTSF of the simulation. PTSF increases rapidly in non-favorable directional splits, lower than 40/60. However, the increase with directional traffic volume is almost linear for the most favorable directional split.

Table 2. Summary of statistics – PTSF model in base conditions

Variable	Estimate	Std. Error	T value	Pr(< t )
A1	-2.125E-03	2.21E-04	-9.63E+00	6.66E-22
A2	-3.476E-05	6.87E-07	-5.06E+01	0.00E+00
A3	6.147E-04	7.19E-05	8.55E+00	1.32E-17
B1	1.326E+00	2.03E-02	6.53E+01	0.00E+00
B2	-2.235E-05	3.62E-06	-6.17E+00	6.89E-10
B3	-1.003E-01	3.61E-03	-2.78E+01	4.21E-167

Residual standard error: 4.839  
 Degrees of freedom: 18973  
 Correlation: 0.98

Figure 4. PTSF for base conditions



### 5.2 Effect of no-passing zones

The effect of no-passing zones was evaluated using the average difference on the performance measure between the base scenario and other scenarios. For each individual traffic stream, the difference between the value and the prediction for the base scenario was calculated.

Similarly to the previous analyses, several models were calibrated and then compared. For ATS, the best fit was the model in Equation 5. Pseudo R2 was 33.7 % and the correlation was 58 %. The statistics are in Table 3.

$$ATS_{npz} = -2.06 - 0.0166 \cdot V_d - 0.064 \cdot P_{npz} + 0.027 \cdot HV_d + 2.92 \cdot 10^{-5} \cdot V_d^2 - 1.45 \cdot 10^{-8} \cdot V_d^3 + 5.43 \cdot 10^{-5} \cdot P_{npz} \cdot V_o \quad (5)$$

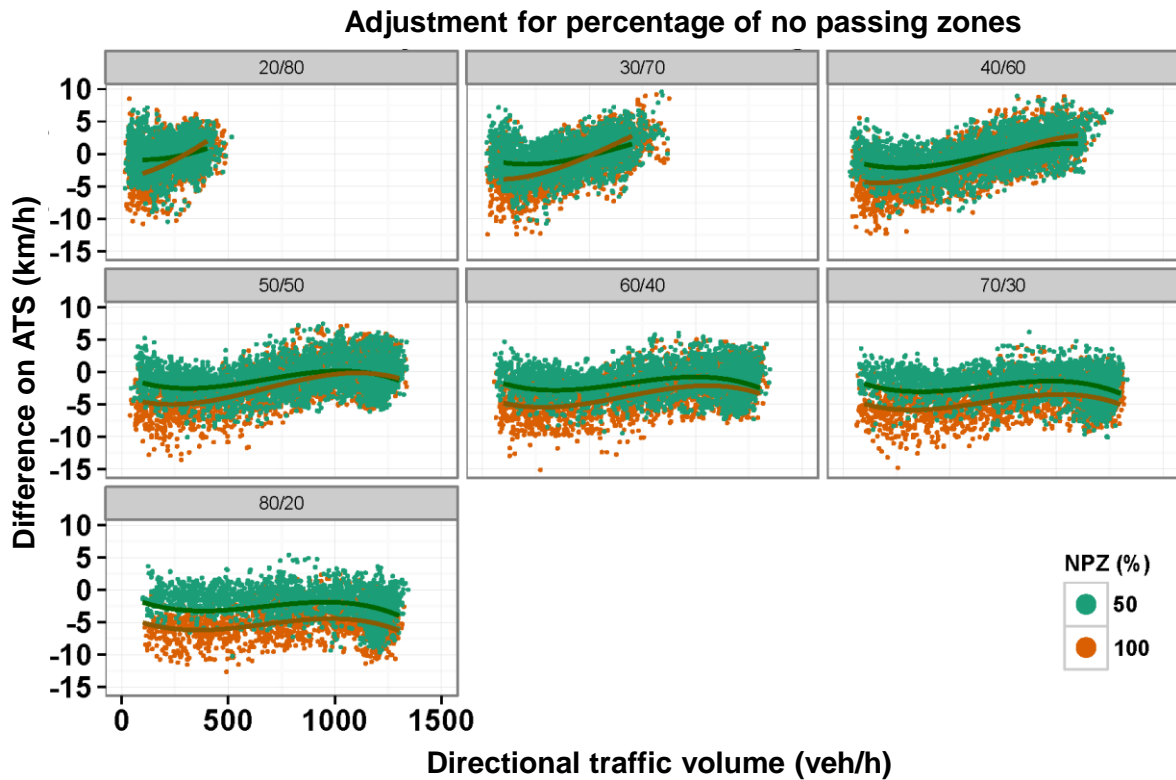
Where:  $ATS_{npz}$  is the adjustment factor for average travel speed (km/h),  $V_d$  is directional traffic volume (veh/h);  $V_o$  is opposing traffic volume (veh/h);  $HV_d$  is percentage of heavy vehicles (%); and  $P_{npz}$  is the percentage of no-passing zones (%).

Table 3. Summary of statistics – ATS adjustment factor for percentage of no passing zones

Variable	Estimate	Std. Error	T value	Pr(< t )
A	2.602	0.0811	3.19E+01	0.00E+00
B	-0.0166	0.0004	-3.91E+01	0.00E+00
C	0.0271	0.0011	2.43E+01	0.00E+00
D	-0.0642	0.0006	-1.07E+02	0.00E+00
E	0.0000	0.0000	4.35E+01	0.00E+00
F	-0.0000	0.0000	-4.10E+01	0.00E+00
G	0.0001	0.0000	1.17E+02	4.21E-167

ATS decreases as  $P_{npz}$  increases (Figure 5 ). The effect is very little in non-favorable directional splits, with reductions lower than 2 km/h. In those scenarios, the effect is higher on low traffic volumes. As directional split becomes more favorable, the maximum effect is produced at directional traffic volumes between 200 and 400 veh/h, where passing opportunities are higher. As directional traffic volume increases, the effect decreases. In very favorable directional split, the difference between base conditions and total restriction to passing is around 5 km/h.

Figure 5. Adjustment factor for ATS



On the other hand, three models were calibrated for PTSF differences. The best model included the directional traffic volume, opposing traffic volume and percentage of no-passing zones and the standard residual error was 4.49 (Equation 6).

$$PTSF_{npz} = \frac{-26.86 + 0.122 \cdot V_d + 0.573 \cdot P_{npz} - 0.025 \cdot V_o}{1 + \exp(0.0025 \cdot V_d - 0.0106 \cdot P_{npz} + 0.0037 \cdot V_o)} \quad (6)$$

Where:  $PTSF_{npz}$  is the adjustment factor for percent time spent following (%),  $V_d$  is directional traffic volume (veh/h);  $V_o$  is opposing traffic volume (veh/h); and  $P_{npz}$  is the percentage of no-passing zones (%).

The effect of no passing zones is higher for PTSF than for ATS (Figure 6). The differences increase as the directional split is more favorable. For directional splits lower than 40/60, PTSF is practically equal on the base conditions and 50 %  $P_{npz}$ . 100 % NPZ produced more differences and they were maximum for the lowest directional traffic volume. For balanced flows, the influence is maximum for directional traffic flows of 200 veh/h, with 7 % increase on 50 % NPZ and 23 % increase on 100 % NPZ. As directional split is more favorable, the differences are higher and the maximum influence moves to higher directional flows, between 250 and 350 veh/h. Moreover, the effect of no-passing zones disappears at

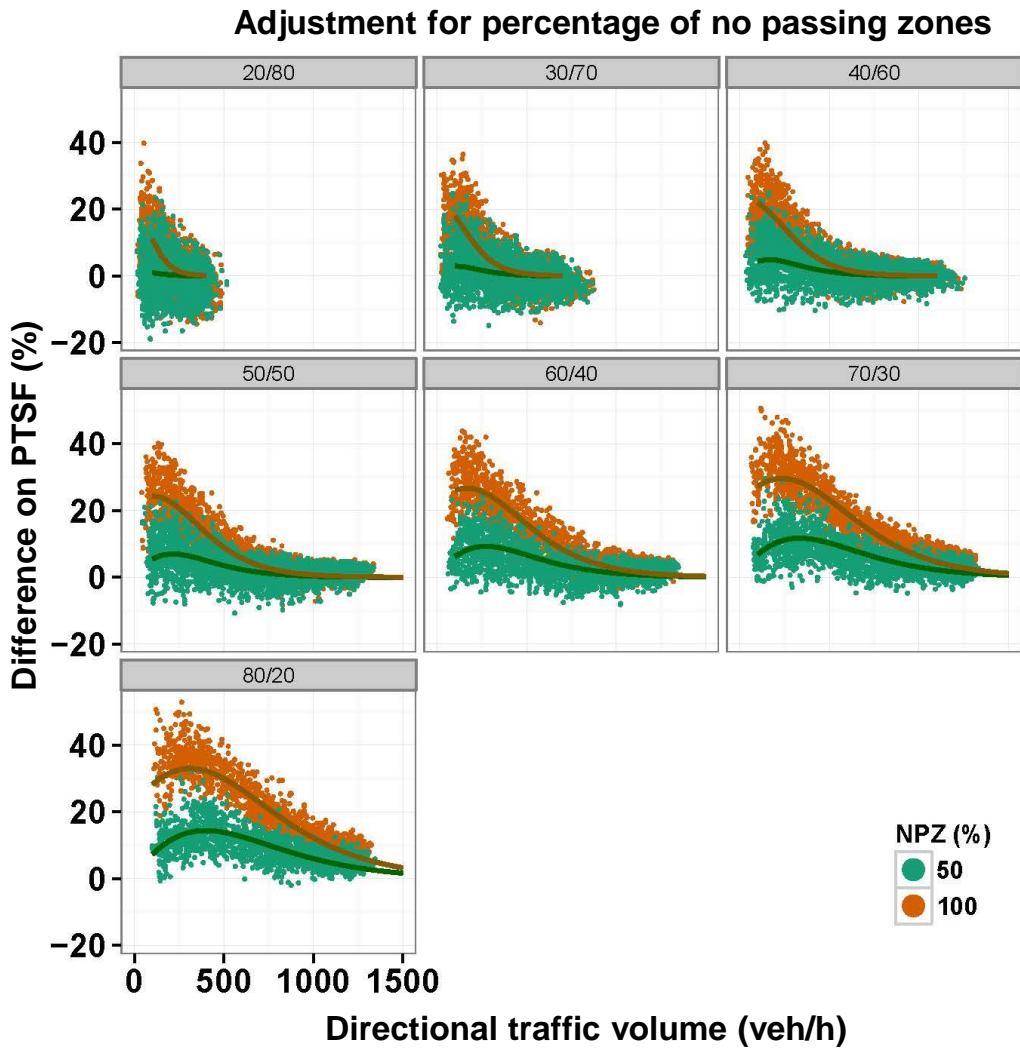
high traffic flows. The exact value depends on the directional split: 400 veh/h for 30/70; 800 veh/h for 50/50 and 1250 veh/h for 70/30.

Table 4. Summary of statistics – PTSF adjustment factor for percentage of no passing zones

Variable	Estimate	Std. Error	T value	Pr(< t )
A0	-2.602E+01	8.898E-01	-3.02E+01	0.00E+00
A1	1.224E-01	2.161E-03	5.67E+01	0.00E+00
A2	5.731E-01	1.102E-02	5.20E+01	0.00E+00
A3	2.482E-02	1.644E-03	-1.51E+01	0.00E+00
B1	2.531E-03	2.241E-05	1.13E+02	0.00E+00
B2	1.059E-02	2.641E-04	-4.01E+01	0.00E+00
B3	3.711E-03	4.504E-05	8.24E+01	0.00E+00

Residual standard error: 4.488 in 38301 degrees of freedom  
 Number of iterations to convergence: 18  
 Achieved convergence tolerance: 4.809e-06

Figure 6. Adjustment factor for PTSF

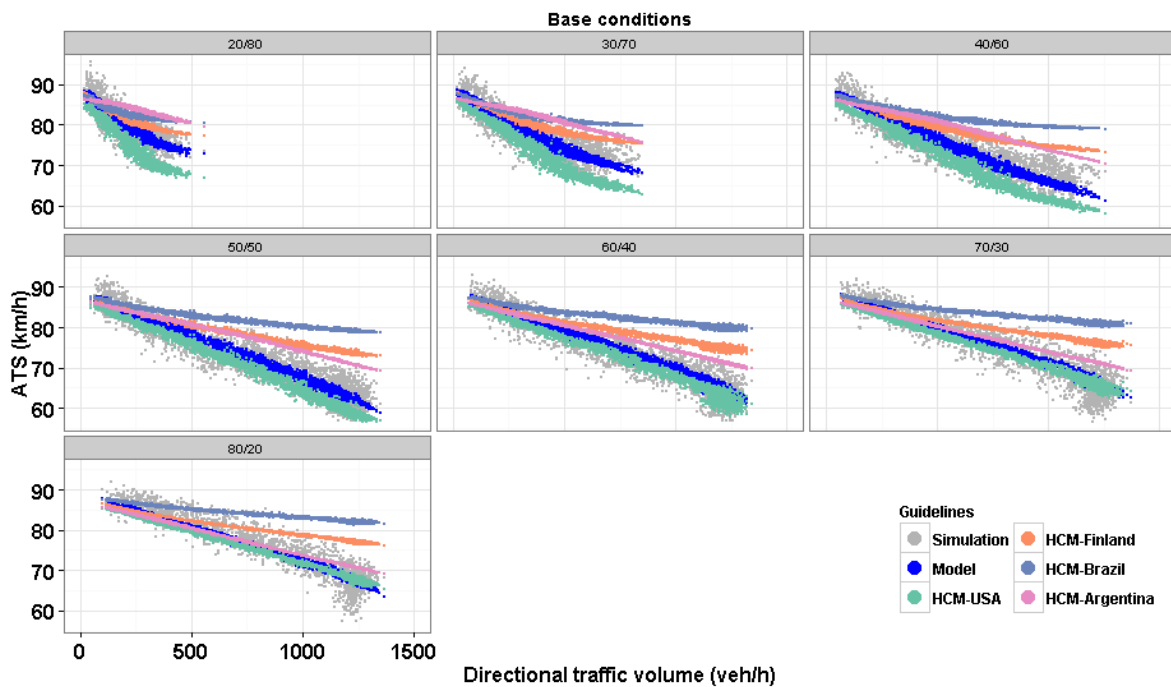


## 6. DISCUSSION

The ATS and PTSF estimates of the models were compared to the estimates from different guidelines and field studies. The results were presented depending on the directional traffic volume and directional split. The comparison was performed on the base scenario.

The results indicate that the HCM (Transportation Research Board 2010) estimate for ATS was the most accurate, after the proposed model (Figure 7). The HCM generally underestimate ATS. The functional form is the best and the estimates are always contained within the simulated values. The model from Argentina (Maldonado et al. 2012) estimates fairly well ATS in favorable directional splits, from 70/30. Lower directional splits leads to underestimation of ATS. The models from Brazil (Bessa & Setti 2011) and Finland (Luttinen 2000) overestimate ATS for all the directional splits, and the differences are higher as the traffic volume increases.

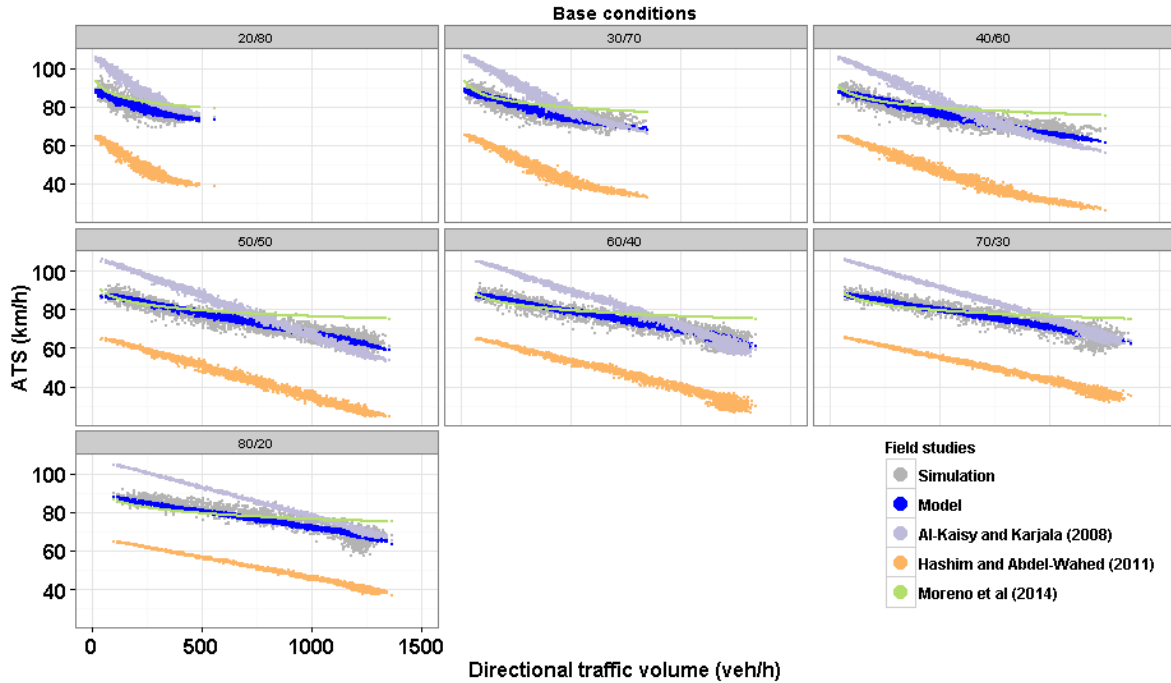
Figure 7. Discussion of ATS (guidelines)



The comparison of ATS to previous field studies (Figure 8) indicates that the best model was the developed on the field study with the same data (Moreno et al. 2014). The model from Egypt presents much lower ATS estimate (Hashim & Abdel-Wahed 2011) due to their lower speed limit. However, the speed was higher than the posted speed limit of 60 km/h. On the other hand, the models developed in Spain predict fairly well ATS in very favorable directional splits (Núñez 2011). The model from M-509

highway differs considerably and even increases the speed for high traffic volumes. The lack of significant digits may cause this sensitivity.

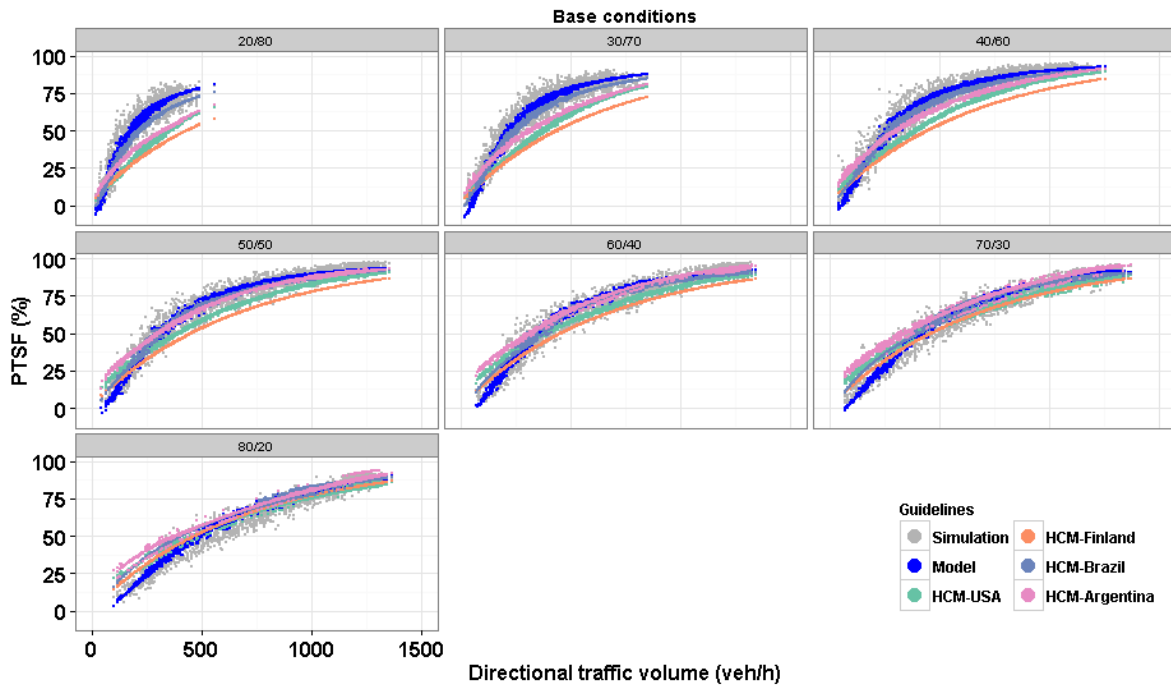
Figure 8. Discussion of ATS (field studies)



PTSF was also compared (Figure 9). The results indicate that the developed model presents the lowest difference to the simulation results. The model from Brazil (Bessa & Setti 2011) has the next lowest average error (0.87 %). However, it underestimates the PTSF for high traffic volumes and overestimates PTSF for low traffic volumes (lower than 200 veh/h). The overestimation is around 15 %. The model from Argentina (Maldonado et al. 2012) has also low average difference because of the good estimation for low traffic volumes with non-favorable directional split; and for high traffic volumes with favorable directional split. The differences on the other cases are significant, up to 25 %. The US HCM underestimates PTSF for almost all the scenarios. For low traffic volumes with favorable traffic flow, the HCM overestimates PTSF up to 15 %.

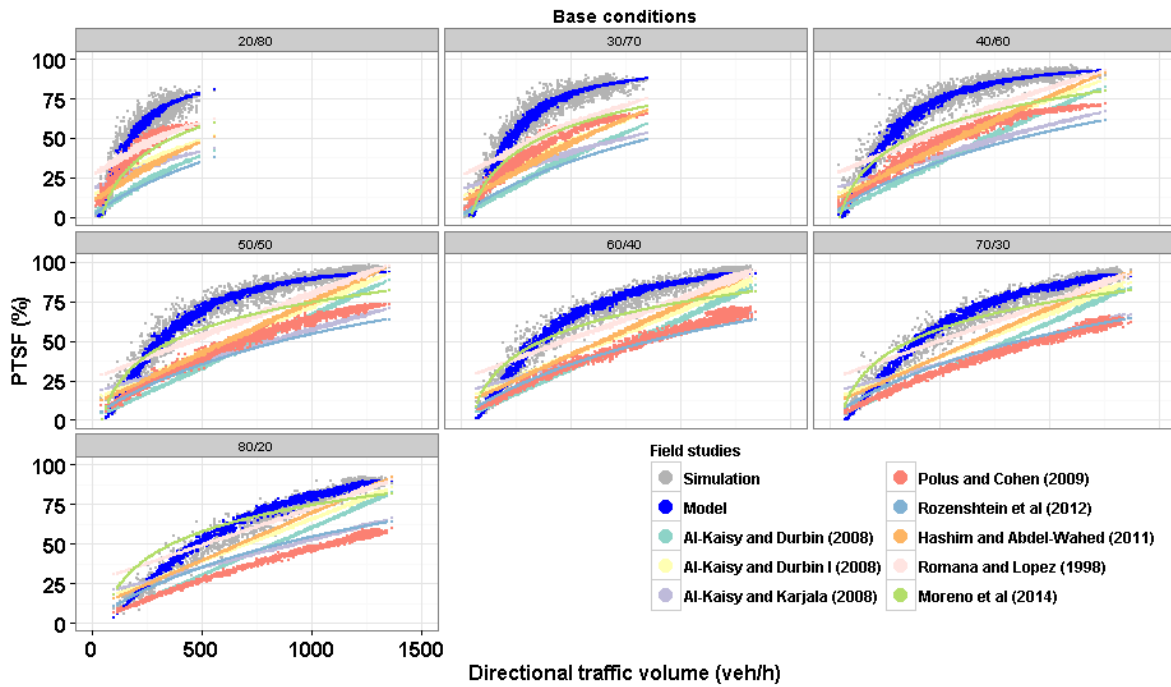


Figure 9. Discussion of PTSF (guidelines)



The results are worse for previous field studies because they propose linear relationships between PTSF and directional traffic volume. (Figure 10). This relationship may be true for very low traffic volume range, however it fails to represent the data. The logarithm model from the field study (Moreno et al. 2014) has 9.7 % of average difference between the estimates and the simulation results; which is caused for the underestimation of PTSF for medium to high traffic flows. In low traffic flows, such as the observed, the model presents fairly good PTSF. The model from Israel (Cohen & Polus 2011) has good estimation for very low traffic flows (lower than 150 veh/h) but underestimates PTSF for higher traffic flows. The difference may be caused by more aggressive behavior in Israel or the theoretical approach used to develop their PTSF equation. Finally, even though the previous model from Spain (Romana & López 1998) produces low average error (6.53 %), the model is linear and it adjusts fairly well to low and high traffic flows, and the error for medium traffic flows is considerable (up to 20 %).

Figure 10. Discussion of PTSF (field studies)



## 7. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The study has shown the adaptation of ATS and PTSF models to Spanish two-lane highways using traffic microsimulation in TWOPAS. The model was calibrated using field data with genetic algorithms. Then, it was applied to different scenarios varying the percentage of no-passing zones, directional traffic volume, directional split and percentage of heavy vehicles.

The conclusions of the study are:

- Directional split has a profound effect on traffic performance. Therefore, directional analysis will be preferred.
- The differences between the base configuration and other scenarios are minimized for scenarios where passing is limited by the opposing traffic volume, such as low directional split (lower than 30/70) or high directional traffic volume (higher than 800 veh/h for balanced flows).
- ATS in base conditions depends on directional traffic volume, opposing traffic volume and percentage of trucks. The presence of trucks reduces ATS, however the effect is lower than directional traffic volume and directional split. ATS decreases linearly with directional traffic volume, similarly to the 2010 HCM. The HCM produces lower estimates than the simulation and the Argentinian model (Maldonado et al. 2012) only produces good results in high directional

splits (higher than 70/30). Field study in Spain (Romana & Núñez 2011) estimates fairly ATS for favorable directional split (higher than 60/40).

- PTSF in base conditions increases as the directional traffic volume increase. The model the same as the HCM 2010, however, the influence of opposing traffic volume is modelled. Directional split has significant effect on the results, increasing PTSF from 25 to 62 % for the same directional traffic volume (250 veh/h). Brazilian model (Bessa & Setti 2011) and Argentinian model (Maldonado et al. 2012) produce lower average error but the first underestimate the variable in low directional split and the second overestimate the variable in low directional traffic volumes. The differences can be up to 25 %. The US model underestimate PTSF in almost all the scenarios. Field data studies report only linear models that are not adapted to the functional form of the variable.
- The influence of percentage of no-passing zones is maximum for directional traffic volumes between 300 and 500 veh/h. This range also maximizes the number of passing maneuvers. The influence of NPZ on ATS is cubic with directional traffic volume, opposing traffic volume, percentage of heavy vehicles and percentage of no-passing zones. On the other hand, the influence on PTSF is inverse to the directional traffic volume and does not depend on the percentage of heavy vehicles.

Based on the conclusions, the recommendations of the study are:

- It is not recommended the use of the HCM methodology to Spanish two-lane highways, despite the good estimates of the Spanish models to previous US field studies. Local adjustment factors should be considered instead.
- The three second headway criterion could be used as surrogate measure for PTSF, even though they are not completely related. Further study is needed to determine the exact headway criterion, which is between 3 and 4 seconds.

The conclusions of the study are limited to the generated scenarios. Scenarios with different frequency and location of passing zones would be further studied, as well as the impact of highway alignment, type of terrain or design speed. Moreover, alternative performance measures could be considered based on percent followers, such as follower density.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This report has been partially developed as a result of a mobility stay at the University of Florida, US, funded by the Spanish Ministry of Economy under the Program Ayudas para estancias breves en otros centros de I+D del subprogram FPI 2013.

The author would like to thank Spanish Ministry of Science and Innovation that subsidized the research projects with reference code TRA2013-42578-P and TRA2010-21736, and Spanish General Directorate of Traffic and Spanish Ministry of Public Works, for their collaboration during the field study.

## REFERENCES

- Barcelo, J., 2010. *Fundamentals of Traffic Simulation*,
- Bessa, J.E.J. & Setti, J.R., 2011. Derivation of ATS and PTSF Functions for Two-lane, Rural Highways in Brazil. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 16, pp.282–292. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042811009967> [Accessed May 15, 2014].
- Brilon, W. & Weiser, F., 2006. Two-Lane Rural Highways: The German Experience. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1988, pp.38–47.
- Camacho-Torregrosa, F.J. et al., 2014. Use of Heading Direction for Recreating the Horizontal Alignment of an Existing Road. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, In press.
- Cohen, M. & Polus, A., 2011. Estimating Percent-Time-Spent-Following on Two-Lane Rural Highways. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(6), pp.1319–1325.
- Daganzo, C.F., 1975. Probabilistic structure of two-lane road traffic. *Transportation Research*, 9(6), pp.339–346. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0041164775900040>.
- Dommerholt, W. & Botma, H., 1988. Model to Determine Operating Quality on Two-Lane Rural Roads. In *58th ITE Annual Meeting*. pp. 310–314.
- Egami, C. et al., 2006. Automatic Calibration of Two-Lane Highway Traffic Simulation Models Using a Genetic Algorithm. In *Applications of Advanced Technology in Transportation*. pp. 510–515.
- Federal Highway Administration, 2004. *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*,
- Ghods, A.H. & Saccomanno, F.F., 2014. Microscopic Overtaking Gap Acceptance Model for Two-lane Highways. In *93rd Transportation Research Board Annual Meeting*. Washington DC (US).
- Harwood, D.W. et al., 1999. *Capacity and Quality of Service of Two-Lane Highways*,
- Harwood, D.W. et al., 2008. *NCHRP 605 Passing Sight Distance Criteria*,
- Hashim, I.H. & Abdel-Wahed, T.A., 2011. Evaluation of performance measures for rural two-lane roads in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 50(3), pp.245–255.

- Hegeman, G., 2004. Overtaking Frequency. In *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. pp. 4017–4022.
- Hegeman, G., Tapani, A. & Hoogendoorn, S., 2009. Overtaking Assistant Assessment using Traffic Simulation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(6), pp.617–630.
- Kaub, A.R., 1990. Passing Operations on a Recreational Two-Lane, Two-Way Highway. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1280, pp.156–162.
- Kim, J. & Elefteriadou, L., 2010. Estimation of Capacity of Two-Lane Two-Way Highways Using Simulation Model. *Journal of Transportation Engineering*, 136(1), pp.61–66.
- Koorey, G., 2002. Assessment of Rural Road Simulation Modelling Tools. In *IPENZ Transportation Group Technical Conference*.
- Li, J. & Washburn, S.S., 2011. Implementing Two-lane Highway Simulation Modeling into CORSIM. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 16, pp.293–305.
- Llorca, C. et al., 2013. Daytime and Nighttime Passing Maneuvers on a Two-Lane Rural Road in Spain. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2358, pp.3–11.
- Llorca, C. et al., 2014. Development of a New Microscopic Passing Maneuver Model for Two-Lane Rural Roads. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2014.06.001>.
- Luttinen, R.T., 2000. Level of Service on Finnish Two-Lane Highways. *Transportation Research Circular E-C018: Fourth International Symposium on Highway Capacity*, pp.175–187.
- Luttinen, R.T., 2001a. Percent Time-Spent-Following as Performance Measure for Two-Lane Highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1776, pp.52–59.
- Luttinen, R.T., 2002. Uncertainty in Operational Analysis of Two-Lane Highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1802, pp.105–114.
- Luttinen, R.T., 2001b. *Uncertainty in the Operational Analysis of Two-Lane Highways*,
- Maldonado, M.O., Herz, M. & Galarraga, J., 2012. Modelación de operación en carreteras argentinas y recomendaciones de ajustes al Manual de Capacidad HCM 2010. *Transportes*, 20(3), pp.51–61.
- Moreno, A.T. et al., 2014. Field Evaluation of Traffic Performance Measures for Two-Lane Highways in Spain. In *93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C., USA.
- Moreno, A.T. et al., 2013. Operational Effectiveness of Passing Zones depending on their Length and Traffic Volume. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2395, pp.57–65.
- Morrall, J. & Werner, A., 1990. Measuring Level of Service of Two-Lane Highways by Overtakings. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1287, pp.62–69.
- Mwesige, G. et al., 2014. A Stochastic Model for Passing Rate at Passing Zones on Two-Lane Rural Highways in Uganda. In *94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*.
- Núñez, M., 2011. *Propuesta de Modelo para Elaborar la Función Intensidad–Velocidad en Tramos Específicos de Carreteras de Dos Carriles en la Comunidad de Madrid*. Universidad Politécnica de Madrid.

- Romana, M.G., 1999. Passing Activity on Two-Lane Highways in Spain. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1678, pp.90–95.
- Romana, M.G. & López, M.G., 1998. Estimation of Percentage of Delayed Vehicles Based on Traffic Variables for Rural Highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1646, pp.29–36.
- Romana, M.G. & Núñez, M., 2011. Proposal of an Alternative Model for Speed-Flow Relationship in Two-Lane Highways. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 16, pp.832–839.
- Tapani, A., 2005. *A Traffic Simulation Modeling Framework for Rural Highways*. Linkopings Universitet.
- Transportation Research Board, 2010. *Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board.
- Troutbeck, R.J., 1982. OVERTAKING RATES ON LOW VOLUME ROADS. In *Australian Road Research Board*. pp. 167–174.
- Two-Lane Highways Subcommittee, A. 2., 2007. *Research Problem Statement. Effects of Operational Treatments on Two-Lane Highway Traffic Operations*,
- Valencia-Alaix, V. & García, A., 2010. Procedures to facilitate passing on conventional highways by means of simulation. In *4th International Symposium on Highway Geometric Design*. Valencia (ES).
- Wardrop, J.G., 1952. Some theoretical aspects of road traffic research. In *Road Division Engineering Meeting*. pp. 362–378.

1  
2  
3 **A Methodology to Evaluate Traffic Performance of Two-Lane Highways including Average**  
4 **Passing Zone Length**  
5  
6  
7

8  
9 **Ana Tsui Moreno**  
10

11  
12 \*Corresponding author  
13 e-mail: [anmoch@cam.upv.es](mailto:anmoch@cam.upv.es)  
14

15  
16 Word count:  
17 Abstract: 285 words  
18 Manuscript: 4795 words  
19 Figures and tables: (7+4) x 250 = 2750 words  
20 TOTAL: 7830 words  
21

22 **ABSTRACT**

23 The US Highway Capacity Manual (HCM 2010) methodology is used in Spain to evaluate traffic  
24 operation and quality of service. Recently, the procedure for two-lane highways was adapted to Spanish  
25 conditions. The methodology is based on simulations from TWOPAS, which was calibrated and  
26 validated with Spanish field data, including the number of passes. However, neither the US and Spanish  
27 procedure do not consider the effect of average passing zone length.

28 The objective of this research is to evaluate the effect of average passing zone length on two-  
29 lane highways operation and incorporate it to the methodology if it is significant. The validated model  
30 in TWOPAS was applied to different scenarios varying the average passing zone length, directional  
31 traffic flow, directional split. Only scenarios with 50 % of no-passing zones were analyzed. The results  
32 were compared to scenarios with 0 % and 100 % of no-passing zones. In total, 297000 scenarios were  
33 executed.

34 Average passing zone length had a profound effect on traffic performance: percent time spent  
35 following could be increased up to 28 % between long and short average passing zone lengths. Very  
36 short passing zones (250 m) did not contribute to operational efficiency; and the effect was stabilized  
37 for passing zone longer than 2500 m. This effect also depended on directional split and traffic volume.

38 The HCM 2010 methodology estimated fairly good ATS in favorable directional splits and long  
39 passing zones. PTSF estimates were accurate in balanced traffic flows and long passing zones. The  
40 estimates should be adjusted for different traffic conditions and average passing zone lengths, as the  
41 errors were up to 22 %. The results could be used to better estimate traffic operation on two-lane  
42 highways and should be added to current methodologies.  
43  
44  
45

46 **Keywords:** Traffic operation, Two-lane highway, Percentage time spent following, Average  
47 speed, Percent followers, Passing zone.  
48

49 **INTRODUCTION**

50 Spanish standards (1) rely on the procedures of the US Highway Capacity Manual (2) to evaluate traffic  
 51 operation and quality of service. For two-lane highways, the level of service is based on three  
 52 performance measures: average travel speed (ATS), percent time spent following (PTSF) and percent  
 53 free flow speed (PFFS). Adjustment factors for ATS and PTSF were developed from traffic simulations  
 54 in TWOPAS to account for the effect of passing maneuvers. The model was calibrated using field data  
 55 from 1970s (3) and no indications on the precision of the adjustment or how passing zones where  
 56 distributed were given (4). The effects of passing zones are based only on the percentage of no-passing  
 57 zones, rather than the actual no-passing zone frequency and location, which may produce the differences  
 58 between the HCM estimates and the microsimulation results in TWOPAS (5) and CORSIM (6).

59 Local adaptations of the Highway Capacity Manual (HCM) methodology for two-lane highways  
 60 were performed in Germany (7), Finland (8), Brazil (9) and Argentina (10). Moreover, the objective of  
 61 the on-going project NCHRP 17-65 is to update the HCM methodology for two-lane highways. The  
 62 usual performance measures are ATS and PTSF, and the effect of the percentage of no-passing zones is  
 63 not included in the Brazilian and Argentinian adaptations (9, 10). The studies are usually based on traffic  
 64 microsimulation because field measurements can be expensive and most importantly, they do not  
 65 provide sufficient repeatability for all the range of traffic volumes and roadway characteristics.  
 66 Specifically, TWOPAS was used in the US and Brazil (3, 9), CORSIM in Argentina (10) and LASI in  
 67 Germany (7). Microsimulation models must be calibrated and validated with field data in order to  
 68 minimize the differences between the observed and simulation results (11–13). Therefore, there is a  
 69 need to document current behavior on two-lane highways.

70 Passing studies could be theory-based (14–16) or field studies (17–22). Theoretical models  
 71 estimate higher passing frequencies than field studies. Moreover, differences on traffic flows, directional  
 72 split, passing zone length and perhaps driver behavior resulted in high dispersion on the number of  
 73 passes observed in field. The studies in Spain (20, 23), found that passing was maximized for balanced  
 74 flows between 500 and 800 veh/h. Moreover, passing zone effectiveness was stabilized for passing zone  
 75 lengths over 1100 m (23). However, the number of passing maneuvers was not related to traffic  
 76 performance.

77

78 **Adaptation of the HCM 2010 to Spanish two-lane highways**

79 The HCM 2010 methodology for two-lane highways was adapted to the Spanish conditions (24). The  
 80 methodology included two main parts: (1) field study; and (2) microsimulation study; which will be  
 81 further developed in Section 3.

82 The calibrated model in TWOPAS was validated with additional field data. The base scenario  
 83 was a 10 km long tangent; with design speed of 100 km/h. Case study scenarios were generated varying  
 84 percentage of no-passing zones (0, 50, 100 %); directional traffic volume (100-1700 veh/h), directional  
 85 split (20/80-80/20) and percentage of trucks (0, 10, 20, 30 %). For the 50 % NPZ scenario, one single  
 86 passing zone of 5 km was located at the middle of the segment.

87 Average travel speed (ATS) and percent time spent following (PTSF) were characterized for the  
 88 base scenario (0 % NPZ) and the two alternative scenarios. ATS and PTSF can be calculated using  
 89 Equation 1a and Equation 2a, respectively.

90

$$ATS = ATS_{base} + ATS_{npz} \quad (1a)$$

$$ATS_{base} = 89.52 - 0.01504 \cdot V_d - 0.0064 \cdot V_o - 0.0522 \cdot HV_d \quad (1b)$$

$$ATS_{npz} = -2.06 - 0.0166 \cdot V_d - 0.064 \cdot P_{npz} + 0.027 \cdot HV_d + 2.92 \cdot 10^{-5} \cdot V_d^2 - 1.45 \cdot 10^{-8} \cdot V_d^3 + 5.43 \cdot 10^{-5} \cdot P_{npz} \cdot V_o \quad (1c)$$

$$PTSF = PTSF_{base} + PTSF_{npz} \quad (2a)$$

$$PTSF_{base} = 100 \cdot (1 - \exp(a \cdot V_d^b)) \quad (2b)$$

$$a = -2.12 \cdot 10^{-3} - 3.48 \cdot 10^{-5} \cdot V_o + 6.15 \cdot 10^{-4} \cdot \ln(V_o) \quad (2c)$$

$$b = 1.33 - 2.23 \cdot 10^{-5} \cdot V_o - 0.1 \cdot \ln(V_o) \quad (2d)$$

$$PTSF_{npz} = \frac{-26.86 + 0.122 \cdot V_d + 0.573 \cdot P_{npz} - 0.025 \cdot V_o}{1 + \exp(0.0025 \cdot V_d - 0.0106 \cdot P_{npz} + 0.0037 \cdot V_o)} \quad (2e)$$

91

92

Where:



- 93 • ATS: average travel speed (km/h).
- 94 • ATStbase: average travel speed in base conditions (km/h).
- 95 • ATStnpz: adjustment factor of percentage of no-passing zones for average travel speed (km/h).
- 96 • Vd: directional traffic volume (veh/h).
- 97 • Vo: opposing traffic volume (veh/h).
- 98 • HVd: percentage of trucks (%).
- 99 • Pnpz: percentage of no-passing zones (%).
- 100 • PTSF: percent time spent following (%)
- 101 • PTSFbase: percent time spent following in base conditions (%)
- 102 • PTSFnpz: adjustment factor of percentage of no-passing zones for percent time spent
- 103 following (%).

104

105 The models for base conditions have the same functional form as the HCM 2010, but the  
106 influence of directional split was explicitly studied and modelled continuously for the whole sample.  
107 Therefore, the model used all the sample instead of breaking up the sample for each opposing traffic  
108 volume range.

109 This methodology is simpler and does not rely on interpolation from tables. However, it does  
110 not account the effect of average passing zone length.

111

### 112 **Research motivation**

113 Even though traffic operations have been studied in detail, the effect of average passing zone length on  
114 traffic performance has not been quantified yet. Very short passing zones would practically have no  
115 effect on operational performance, even though the percentage of no passing zones is low. To do so,  
116 scenarios with different passing zone length and traffic volume should be evaluated. Traffic  
117 microsimulation will be used to controllably vary passing zone frequency and location. Then, the effect  
118 of average passing zone length could be evaluated and included, if necessary, on the procedure to  
119 analyze traffic operations in two-lane highways.

### 120 **OBJECTIVES**

121 The aim of the research is to evaluate the effect of average passing zone length in traffic performance  
122 in two-lane highways. To do so, the following objectives were identified:

- 123 • To generate and simulate multiple scenarios in TWOPAS varying directional traffic flow,  
124 directional split, percentage of no-passing zones and average passing zone length. The  
125 TWOPAS model was previously calibrated and validated using field data.
- 126 • To model average travel speed (ATS) and percent time spent following (PTSF) based on traffic  
127 conditions and passing restrictions.
- 128 • To evaluate the effect of average passing zone length on ATS and PTSF.
- 129 • To modify, if necessary, the procedure to analyze traffic operations in two-lane highways.

130

### 131 **METHODOLOGY**

132 The study evaluated the influence of average passing zone length on traffic performance. Traffic  
133 microsimulation was used to vary controllably average passing zone length on the same road segment.  
134 TWOPAS was selected for the simulation, and it was calibrated and validated with field data. The  
135 methodology included a field study and a traffic microsimulation study.

136

#### 137 **Field study**

138 Data was collected in four passing zones located along one Class I two-lane highway in Spain (N-225).  
139 Selection criteria included wide two-way traffic volume range (120 – 900 veh/h); directional split  
140 (50/50-30/70), traffic composition (5-30 % of heavy vehicles); and passing zone length (285-1270 m).  
141 Design speed, as well as posted speed limit, was 100 km/h and annual average daily traffic (AADT) was  
142 5,577 veh/day in 2010. The data was previously used to model the number of passing maneuvers (23),  
143 to calibrate alternative performance measures (25) and to obtain passing duration time and time to

144 collision (26). The number of passing maneuvers was validated with 12 additional passing zones in  
145 Valencia (23).

146 Video recordings were used at the beginning and end of the passing zones. The videos were  
147 individually analyzed to obtain the time stamp of each vehicle. Directional traffic volume, traffic  
148 composition, average travel time and time headway were obtained. The 3-second criterion of the HCM  
149 2010 was used to identify followers (2). Moreover, passing maneuvers were calculated comparing the  
150 vehicles' sequence.

151 The counting period was 5 minutes and the results were aggregated in 15 minutes as the sum of  
152 three overlapping consecutive 5-minute period. Consequently, it was skipped the error of peak 15-  
153 minute period overlapped on two 15-minute counting periods (27). Then, equivalent hourly data was  
154 calculated based on the 15-minute data. For each counting period was obtained: directional traffic  
155 volume; traffic composition; average travel speed; speed distribution of passenger cars; speed  
156 distribution of trucks; number of passes; and, percent followers at the beginning and end of passing  
157 zones.

158

## 159 **Traffic microsimulation in TWOPAS**

160

### 161 *Calibration scenarios*

162 Horizontal and vertical alignments of N-225 were recreated using GPS tracks with 10 Hz frequency.  
163 Cross section, available sight distance, no-passing zones and posted speed limit were also characterized.  
164 TWOPAS default values of minimum passing sight distance, driver's eye height, object height and  
165 vehicle characteristics were adapted to the Spanish conditions. Mean desired speed and standard  
166 deviation were estimated based on the unimpeded speed distributions.

167 Seven of the thirteen vehicle types were used: 5 passenger cars (subcompact car, compact car,  
168 midsize car, van, SUV) and 2 trucks (two axle, three or more axles). For passenger cars, maximum  
169 acceleration and overall length were adjusted. For trucks, weight/net horsepower ratio, weight/projected  
170 frontal area ratio and overall length were adjusted. Percent of vehicles were also assigned based on the  
171 observations.

172 For the calibration, 30 non-overlapped counting periods were used, and the 60 remaining periods  
173 were left for validation.

174

### 175 *Calibration with genetic algorithms*

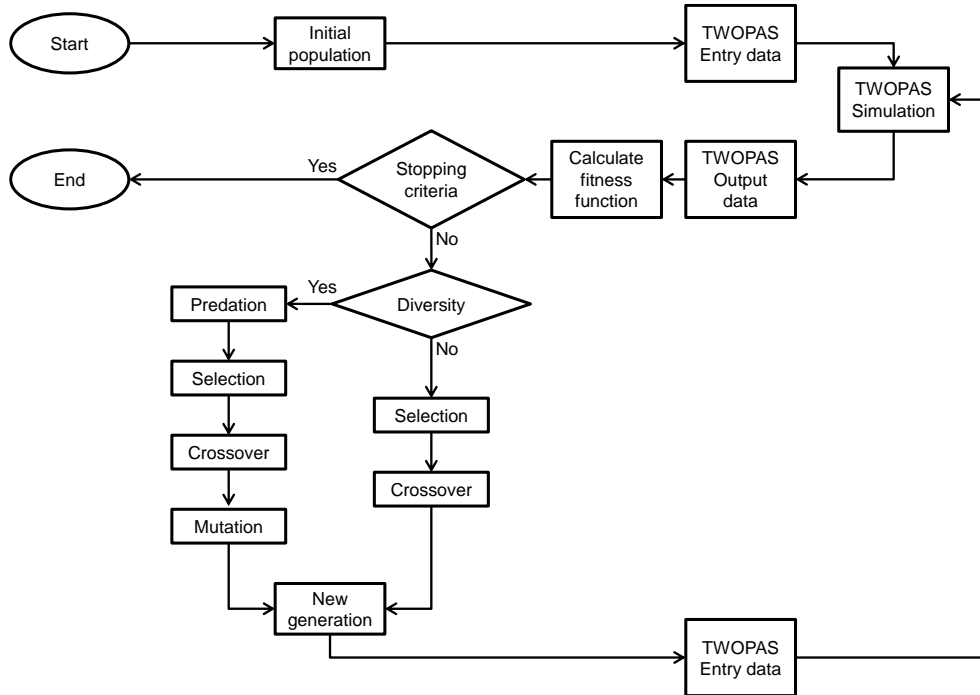
176 The result of calibrating the model is the combination of parameters that minimize the differences  
177 between simulation and field data. For the research, we adapted the genetic algorithm used in Brazil for  
178 calibrating TWOPAS (9). It includes crossover, mutation, elitism and predation (**Error! No se  
179 encuentra el origen de la referencia.**).

180 This optimization technique mimics the process of natural selection. The algorithm starts from  
181 a random population of individuals. In each generation, the fitness of every individual in the population  
182 is evaluated. Fitter solutions are more likely to be selected to breed the new generation. The new  
183 generation substitutes the previous generation and it is used in the next iteration of the algorithm. To  
184 generate a new individual, two parents cross their genetic material. Mutation is introduced to diversify  
185 the individuals and avoid local minima. Good combination of crossover and mutation may lead to the  
186 optimum solution. Elitist selection (the best individual is carried over to the next generation) and  
187 predation (substitute the worst fitted individuals by new random individuals) were added. Stopping  
188 criteria include: maximum number of generations, minimum error threshold; or improvement error  
189 threshold.

190 Calibration parameters, fitness function and genetic parameters were adapted. The calibration  
191 parameters included:

- 192 • Passing reconsider probability (PREC): probability that simulation driver will reconsider  
193 starting a pass during one review period. Default value of 0.2.
- 194 • Car following factor (ZKCOR): proportionality constant used in calibrating the car following  
195 model. Default value of 0.8.
- 196 • Stochastic driver type factor (BKMP1 to BKMP10). Multiplicative parameter from a stochastic  
197 distribution of time headways used in car following. Default values from 0.43 to 2.12 seconds.

198



199

200

**Figure 1. Genetic algorithm**

201

The fitness function depended on 20 parameters (10 per direction):

202

- Number of passes.
- Percent followers at the end of the segment (3 second headway criterion).
- Average speed of passenger cars and trucks.
- Standard deviation of speed of passenger cars and trucks.
- Percentile 15 and 85 from speed distributions of passenger cars and trucks.

203

204

205

206

207

Three combinations of weights were tested. The best combination was applied to the algorithm (58 % passes, 30 % percent followers, 12 % speeds).

208

209

The genetic parameters were selected based on sensitivity analyses with 20 generations and 3 combination of parameters. The best combination was to introduce diversity every 4 generations, with mutation probability of 0.4 and 30 % of predation.

210

211

212

The genetic algorithm was executed in 80 generations of 40 individuals, 5 random seeds and 30 traffic scenarios. The total number of simulations was 480.000. Each simulation was 15 minute long, with 15 minute warm-up. The minimum error was reduced from 7.9 % (default values) to 3.8 % (calibrated parameters).

213

214

215

216

217

**Validation**

218

The 25 best combinations of calibration parameters were validated with additional field data (60 traffic scenarios). The average error was 4.3 %, very close to the calibration error of 3.8 %.

219

220

**CASE STUDY**

221

The case study included one ideal 10 km long straight segment. The percent grade was 0.5 %. Ten distributions of passing zones were studied varying:

222

- Percentage of no passing zones: 0, 50 and 100 %.
- Average passing zone length: 250, 500, 714, 1000, 1250, 1670, 2500 and 5000 m. The passing zones were evenly distributed along the segment. The scenarios started and ended with no-passing zones.

223

224

225

226

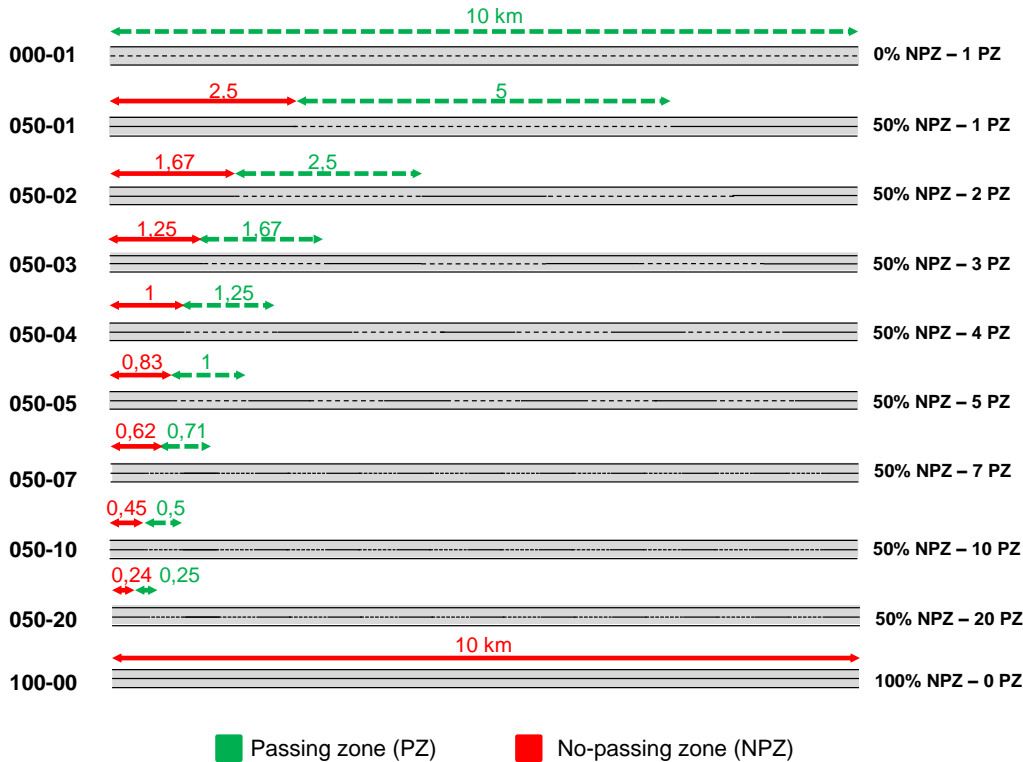
227

Case study scenarios are shown in Figure 2. Scenarios 000-01; 050-01 and 100-00 were modelled to develop the Spanish adaptation of the HCM 2010 (24). Scenario 000-01 is the base scenario for operational analyses, as passing is not restricted. Scenarios 050-01 and 100-00 were used to evaluate

228

229

230 the influence of percentage of no-passing zones in traffic performance. The results were shown in  
 231 Equation 1a to 2e.  
 232



233  
 234 **Figure 2. Case study scenarios**

235 Traffic variables varied as follows:

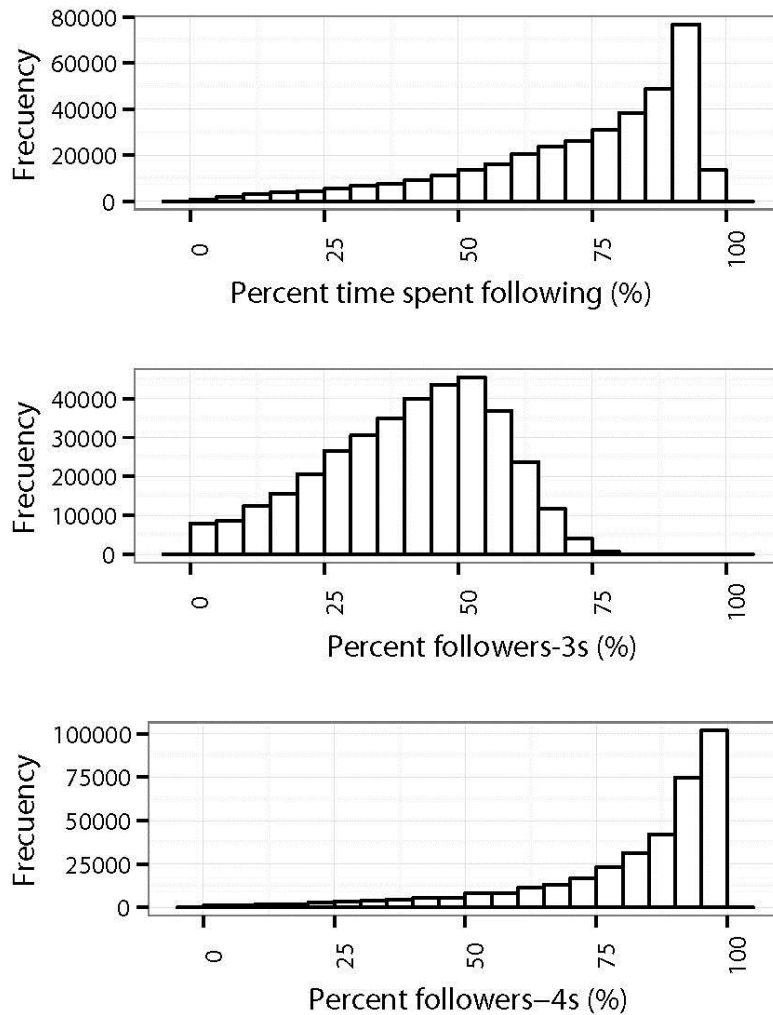
- 236 • Directional split: 20/80; 30/70; 40/60; 50/50; 60/40; 70/30; 80/20.
- 237 • Directional traffic volume: between 100 and 1700 veh/h, with steps of 50 veh/h. Opposing  
 238 traffic volume was calculated and limited to 1700 veh/h or two-way traffic volume of 3200  
 239 veh/h.
- 240 • Percentage of heavy vehicles: 0, 10, 20 and 30 %.
- 241 • Replicability: 15 individuals for the same traffic conditions (random seed and calibration  
 242 parameters). Random seeds were selected among 25 and combination of calibration parameters,  
 243 among the best 50 combinations from the simulation.

244 The total number of simulations was 148,500 (297,000 directional scenarios). The maximum  
 245 directional traffic volume that produced outputs was 1540 veh/h, as higher traffic volumes stilled  
 246 TWOPAS. Therefore, the number of valid directional scenarios was reduced to 248,400.

## 247 ANALYSIS OF THE RESULTS

248 Two performance measures were analyzed: average travel speed (ATS) and percent time spent following  
 249 (PTSF). The values were obtained from the output file of TWOPAS (\*.OUT.).

250 Percent followers (PF) was also calculated based on the headway distributions at the end of the  
 251 segment, using 3 and 4 seconds as criterion (PF, PF4). As seen in **¡Error! No se encuentra el origen  
 252 de la referencia.**, the distributions of PF and PTSF are very different in shape and value. The average  
 253 PF was 40 %, compared to 73 % in PTSF. The maximum values were also very different: 84 and 100  
 254 %, respectively. The distribution of PF4 was closer to PTSF but has lower sensitivity to traffic variables.  
 255 The same conclusions were obtained for the other geometries. Consequently, PF is not completely  
 256 related to PTSF and should be used as surrogate measure for PTSF with caution. Moreover, the study  
 257 of alternative performance measures, such as follower density, will be postponed after the headway  
 258 criterion is adequately defined.  
 259



260  
261 **Figure 3. Distribution of percent time spent following and percent followers**

262 **Average travel speed**

263 The effect of average passing zone length (PZL) was studied for 50 % NPZ scenarios. Simulation results  
264 were compared to the estimations applying the Spanish procedure (Equations 1a to 1c). The error on  
265 ATS for each traffic stream is represented in Figure 4.

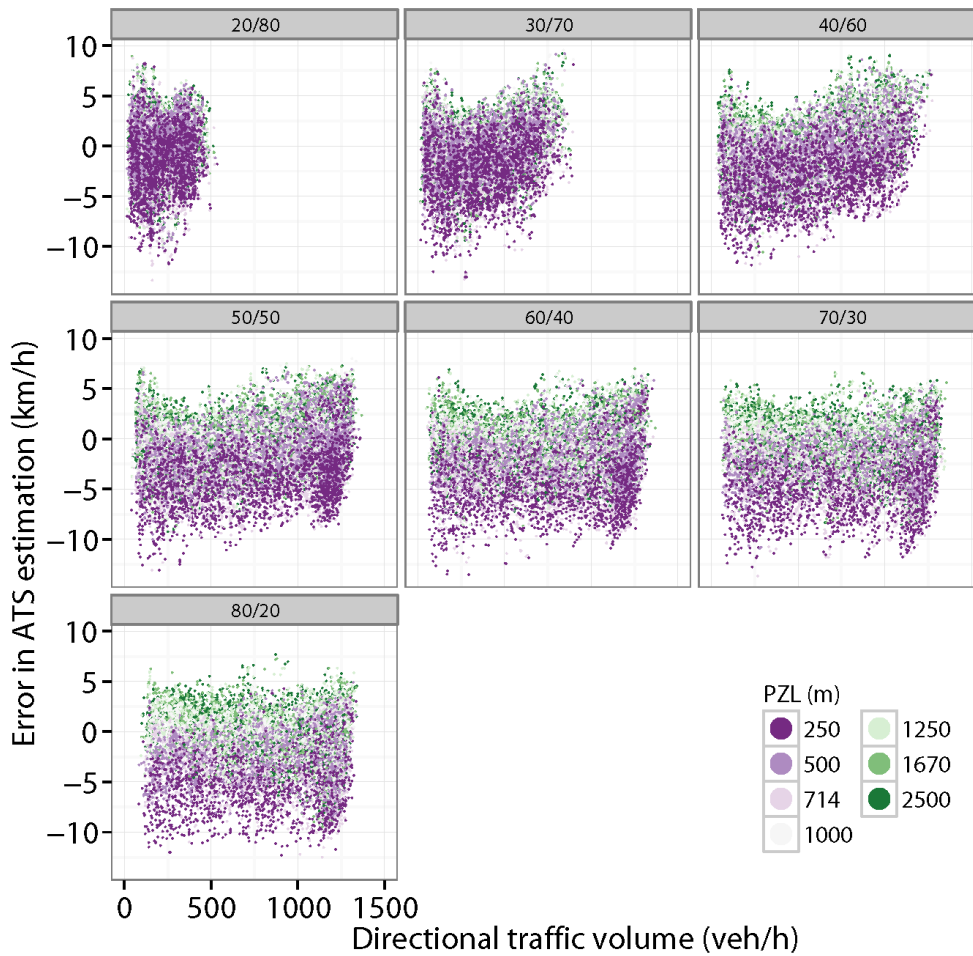
266 ATS reduction was mainly affected by directional split and PZL. The effect was higher where  
267 passing opportunities were higher, regardless they came from opposing traffic volume (favorable  
268 directional splits) or geometry (longer PZL). The effect increased as the directional split was more  
269 favorable and when the PZL decreased. The dispersion was around 5 km/h; similar to the dispersion of  
270 ATS on the base scenario (000-01).

271 For non-favorable directional splits, the effect of PZL is lower. The difference on ATS is defined  
272 by traffic volume, with maximum influence for traffic volumes between 200 and 400 veh/h. The  
273 difference on ATS varied between -10 and + 5 km/h, for all average passing zone lengths.

274 As directional split became more favorable, geometry started to control the difference on ATS  
275 and the effect of traffic volume was minimum. For favorable directional splits (over 60/40), difference  
276 on ATS was between -5 and +5 km/h for long passing zones; and between -10 and 0 km/h for short  
277 passing zones.

278 As the effect of average passing zone length was significant, up to 5 km/h, some adjustment  
279 factors should be included on the procedure. However, the different behavior for each directional split  
280 made difficult to model the phenomenon as a whole. Therefore, the proposed adjustment factors were  
281 the average error for each traffic volume range. Results are summarized in Table 1.

282



283

284

285

**Figure 4. Difference on ATS depending on directional traffic volume, directional split and average passing zone length**

286

287

288

289

290

291

292

293

The adjustment factors varied from -2 km/h (20/80) to -5 km/h (50/50) and -6.5 km/h (80/20), for 250 m. The effects were lower for 714 m PZL: -1.6; -2.5; and -3.1 km/h for the same directional splits. They were close to 0 km/h for long passing zones (2500 m) and, in some cases, the performance was better than 5000 m. The differences could be caused for a less accurate adjustment of NPZ to that specific traffic volume.

294 **Table 1. Adjustment factors for ATS (km/h) depending on average passing zone length**

Directional split	Traffic volume (veh/h)	Average passing zone length (m)							
		250	500	714	1000	1250	1670	2500	5000
20/80	<200	-2.05	-0.53	-1.60	-0.45	-0.27	-0.28	0.02	0.00
	400	-1.04	0.85	-1.10	0.86	0.78	0.73	0.84	0.00
	>600	-1.80	-1.18	-0.39	-0.45	-0.27	-0.61	0.00	0.00
30/70	<200	-3.27	-1.38	-2.30	-0.78	-0.54	-0.49	-0.23	0.00
	400	-2.53	-0.38	-2.25	-0.31	-0.22	-0.28	-0.17	0.00
	600	-1.28	0.81	-1.34	0.97	0.83	0.96	0.70	0.00
	>800	0.14	2.64	-0.08	2.55	2.69	2.72	2.93	0.00
40/60	<200	-3.90	-1.99	-2.60	-0.92	-0.60	-0.32	-0.15	0.00
	400	-3.57	-1.23	-3.02	-0.76	-0.89	-0.83	-0.70	0.00
	600	-2.82	-0.32	-2.69	-0.37	-0.25	-0.20	-0.11	0.00
	800	-1.92	0.85	-1.76	0.71	0.82	0.78	1.00	0.00
	1000	-0.81	1.77	-0.53	1.90	1.84	1.88	1.80	0.00
	>1200	1.11	2.98	1.36	3.21	3.55	2.97	3.15	0.00
50/50	<200	-4.69	-2.24	-2.54	-0.76	-0.32	0.07	0.10	0.00
	400	-4.39	-1.81	-3.26	-1.07	-0.84	-0.77	-0.61	0.00
	600	-3.86	-1.09	-3.47	-0.93	-0.81	-0.64	-0.50	0.00
	800	-3.51	-0.77	-3.14	-0.36	-0.34	-0.36	-0.18	0.00
	1000	-2.24	0.53	-1.85	0.51	0.80	0.73	0.53	0.00
	1200	-1.70	0.24	-1.84	0.23	0.19	0.20	0.26	0.00
	>1400	0.49	2.64	0.58	2.62	3.18	3.26	1.93	0.00
60/40	<200	-5.21	-2.56	-2.96	-0.65	0.08	0.47	0.51	0.00
	400	-4.62	-2.03	-3.26	-0.83	-0.73	-0.32	-0.12	0.00
	600	-4.39	-1.51	-3.74	-0.87	-0.55	-0.59	-0.33	0.00
	800	-4.35	-1.44	-3.67	-0.93	-0.96	-0.63	-0.69	0.00
	1000	-3.56	-0.78	-3.26	-0.56	-0.24	-0.40	-0.18	0.00
	1200	-2.89	-0.69	-2.54	-0.62	-0.76	-0.54	-0.42	0.00
	>1400	1.54	2.08	1.26	2.14	3.23	2.57	2.41	0.00
70/30	<200	-5.70	-2.92	-2.84	-0.17	0.41	0.52	0.92	0.00
	400	-5.18	-2.27	-3.61	-0.49	-0.29	0.23	0.29	0.00
	600	-4.54	-1.58	-3.67	-0.81	-0.36	-0.25	-0.10	0.00
	800	-4.94	-1.80	-3.93	-1.05	-0.57	-0.56	-0.20	0.00
	1000	-4.46	-1.21	-3.63	-0.82	-0.74	-0.50	-0.61	0.00
	1200	-3.59	-1.54	-3.32	-1.19	-1.12	-0.98	-0.80	0.00
	>1400	0.37	1.86	-0.24	0.72	1.03	2.30	1.47	0.00
80/20	<200	-6.46	-3.16	-3.07	0.04	0.74	1.40	1.26	0.00
	400	-5.48	-2.44	-3.11	0.10	0.55	0.90	1.52	0.00
	600	-4.91	-2.07	-3.39	-0.28	-0.01	0.56	0.85	0.00
	800	-5.36	-2.03	-3.85	-0.67	-0.08	-0.15	0.04	0.00
	1000	-4.89	-1.74	-3.52	-0.61	-0.49	-0.38	-0.04	0.00
	1200	-4.06	-2.27	-3.53	-1.27	-1.25	-0.86	-0.80	0.00
>1400	-0.89	0.72	0.62	2.20	2.35	3.09	2.49	0.00	

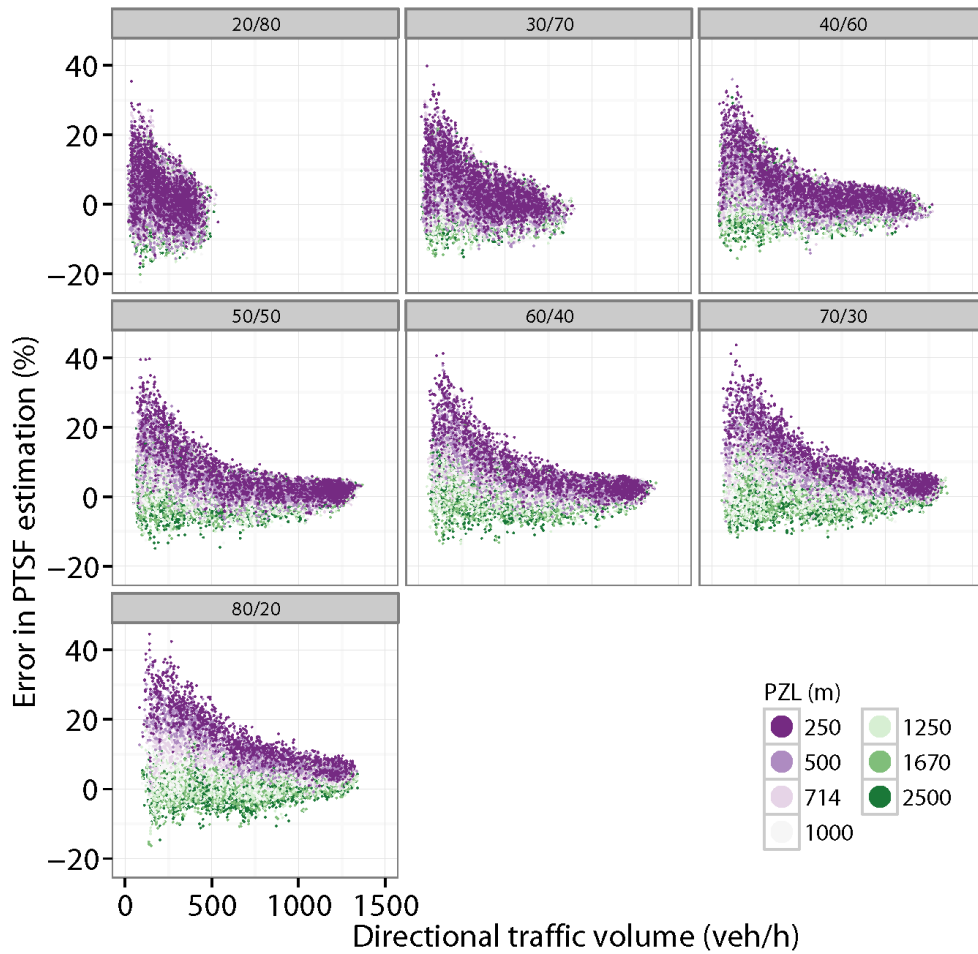
295

296 **Percent time spent following**

297 PTSF was estimated applying the Spanish procedure (Equations 2a to 2e). The error between the  
 298 simulation result and the estimation was calculated for each traffic stream. Figure 5 shows the results.

299 The effect on PTSF was much higher than on ATS. The increase on PTSF was almost 40 % in  
 300 some cases, such as low traffic volume and favorable directional split (better than 50/50).

301 The differences were maximized when passing opportunities could be more penalized, such as  
 302 favorable directional splits or low traffic volumes. As seen, the error decreased as the directional traffic  
 303 volume increased. The initial slope was more gradual in favorable directional splits because passing  
 304 zones were effective up to higher traffic volumes.



305  
306  
307

**Figure 5. Difference on PTSF depending on directional traffic volume, directional split and average passing zone length**

308  
309  
310  
311

Similarly to ATS, the effect was significant and should be included on the procedure. Several models were calibrated; however, the double dependence on directional split and average passing zone length could not be captured. Therefore, the average error was proposed as adjustment factors. Table 2 summarizes the adjustment factors for PTSF.

312  
313  
314

Four groups of PZL were identified: very short passing zones (250 m); short passing zones (500 and 714 m); medium passing zones (1000, 1250 and 1670 m); and long passing zones (2500 and 5000 m).

315  
316  
317

For favorable directional splits (higher than 50/50), the maximum differences were 26.9; 21.6 and 5.5 % for very short passing zones; short passing zones and medium passing zones, respectively. The differences decreased as the directional traffic flow decreased.

318  
319  
320

On the other hand, increasing the passing zone length from 2500 to 5000 m did improve PTSF less than 1.5 %; and, in some cases, PTSF decreased. This indicates that traffic performance was stabilized from passing zone lengths of 2500 m.

321  
322  
323



324 **Table 2. Adjustment factors for PTSF (%) depending on average passing zone length**

Directional split	Traffic volume (veh/h)	Average passing zone length (m)							
		250	500	714	1000	1250	1670	2500	5000
20/80	<200	5.37	2.22	3.91	1.69	1.41	0.90	0.21	0.00
	400	-0.36	-2.28	-0.14	-2.22	-1.97	-2.23	-2.11	0.00
	>600	-5.10	2.77	1.71	1.69	1.41	-0.01	-2.09	0.00
30/70	<200	10.83	6.75	6.98	3.71	2.70	1.96	1.42	0.00
	400	2.65	0.43	2.04	0.05	-0.11	-0.02	-0.27	0.00
	600	0.40	-0.78	0.50	-1.05	-0.90	-0.95	-0.65	0.00
	>800	-0.73	-2.22	-0.74	-1.99	-2.56	-2.18	-2.54	0.00
40/60	<200	14.65	10.46	9.08	5.03	3.75	2.26	1.83	0.00
	400	6.06	3.41	4.11	1.40	1.59	1.27	0.73	0.00
	600	2.20	0.39	1.47	-0.02	-0.14	-0.44	-0.57	0.00
	800	1.24	-0.09	0.97	0.08	-0.19	-0.11	-0.34	0.00
	1000	0.86	0.34	0.68	0.24	0.21	0.15	0.18	0.00
	>1200	-0.29	-0.65	-0.23	-0.36	-0.63	-0.24	-0.23	0.00
50/50	<200	18.14	12.97	10.02	6.12	3.91	2.29	1.39	0.00
	400	9.29	6.67	5.69	2.49	1.77	1.37	0.54	0.00
	600	4.44	1.86	2.60	0.89	0.23	-0.12	-0.58	0.00
	800	2.43	0.97	1.49	0.14	0.08	-0.18	-0.56	0.00
	1000	1.49	0.72	1.21	0.43	0.24	0.36	0.33	0.00
	1200	1.49	1.34	1.47	1.31	1.22	1.25	1.28	0.00
	>1400	2.45	2.66	2.31	2.33	2.25	2.59	2.81	0.00
60/40	<200	21.54	16.07	12.15	6.26	3.59	1.69	1.29	0.00
	400	12.02	9.22	7.42	3.77	2.83	1.02	0.13	0.00
	600	6.70	4.19	4.03	1.12	0.26	-0.31	-1.35	0.00
	800	4.20	2.35	2.26	0.68	0.26	-0.46	-0.64	0.00
	1000	2.73	1.69	1.96	1.11	0.48	0.44	0.17	0.00
	1200	2.15	1.85	1.81	1.59	1.54	1.36	1.31	0.00
	>1400	2.42	2.48	2.70	2.61	2.28	2.49	2.43	0.00
70/30	<200	24.14	18.82	12.95	5.76	2.88	1.13	0.29	0.00
	400	16.23	12.56	10.24	4.49	2.77	0.84	0.49	0.00
	600	9.15	6.24	5.47	1.96	0.69	-0.61	-1.14	0.00
	800	6.33	4.20	3.72	1.28	0.34	-0.47	-1.11	0.00
	1000	4.66	3.46	2.93	1.60	1.07	0.62	0.46	0.00
	1200	3.38	2.92	2.74	2.25	2.06	1.83	1.55	0.00
	>1400	3.42	3.64	3.56	3.24	3.22	2.60	3.07	0.00
80/20	<200	26.89	21.55	14.22	5.52	1.84	-0.19	-0.32	0.00
	400	21.14	17.41	12.67	6.26	3.43	2.07	0.34	0.00
	600	13.93	10.89	8.35	3.89	1.76	0.05	-0.96	0.00
	800	9.93	7.83	5.92	2.86	0.93	0.20	-0.55	0.00
	1000	7.52	6.22	4.87	3.04	2.22	1.11	0.73	0.00
	1200	5.54	5.13	4.47	3.64	3.25	2.67	2.26	0.00
	>1400	6.30	5.56	4.93	3.99	3.03	2.95	2.36	0.00

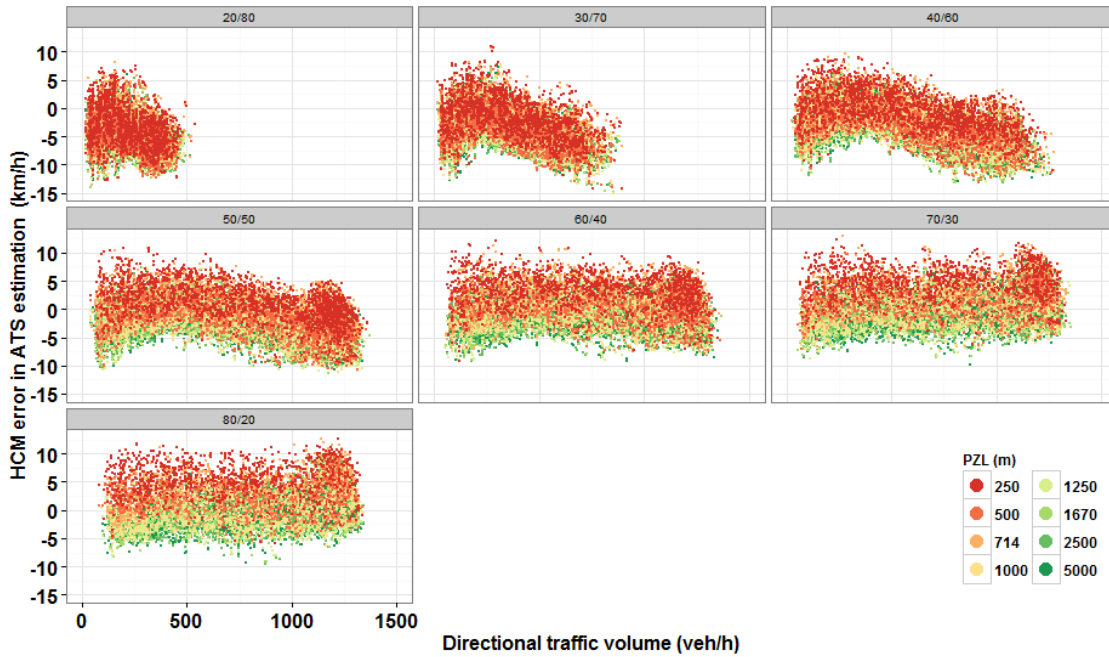
325

326 **DISCUSSION**

327 ATS and PTSF estimates from the simulation were compared to the HCM 2010 estimates. Positive error  
 328 indicates overestimation of the variable, while negative errors are associated with underestimation of  
 329 the variable. The error for each traffic stream in ATS and PTSF is represented in Figure 6 and Figure 7,  
 330 respectively. The results were presented depending on the directional traffic volume, directional split  
 331 and average passing zone length.

332 ATS error dispersion was almost constant and equal to 5 km/h, regardless the traffic conditions  
 333 and passing zone length. HCM 2010 underestimated ATS for non-favorable directional splits, lower  
 334 than 50/50 (Figure 6). Directional traffic flows between 200 and 400 veh/h minimized the differences.  
 335 As the directional split was more favorable, the influence of directional traffic volume decreased.  
 336 Average PZL effect is not clear for non-favorable directional splits; however the effect was higher for

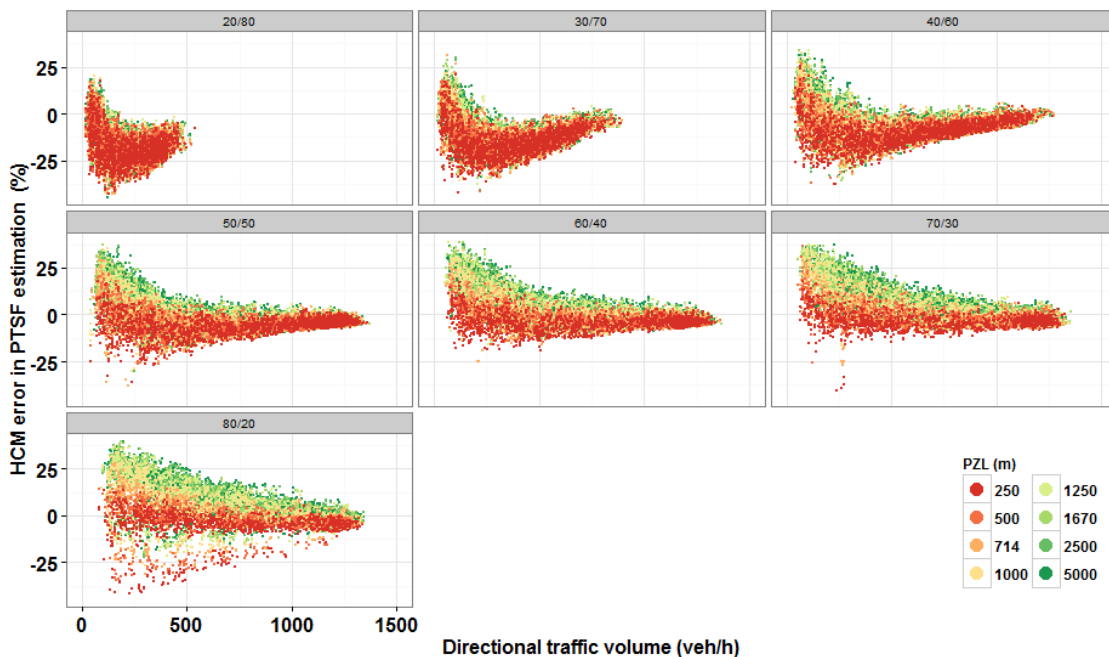
337 favorable directional splits (higher than 50/50). In those scenarios, the error was lower for longer passing  
 338 zones and ATS was overestimated in very short passing zones.



339

340 **Figure 6. HCM error in ATS estimation depending on directional traffic volume, directional split**  
 341 **and average passing zone length**

342 HCM errors in PTSF estimation were greater than in ATS (between -25 and + 25 %). They were  
 343 minimized for high traffic volume (higher than 1000 veh/h for balanced flows), as well as the dispersion  
 344 on the results. HCM underestimated PSTF in non-favorable directional splits. The maximum difference  
 345 was for traffic flows around 300 veh/h. The effect of PZL is lower, similarly to the Spanish procedure.  
 346 As directional split was more favorable, PTSF was more overestimated than underestimated. The best  
 347 results were produced for balanced flows (40/60-50/50) and medium PZL.



348

349 **Figure 7. HCM error in PTSF estimation depending on directional traffic volume, directional split**  
 350 **and average passing zone length**

351 In order to quantify the errors, average errors were calculated for ATS (**Error! La**  
 352 **autoreferencia al marcador no es válida.**) and PTSF (Table 4). As seen, HCM estimates are fairly  
 353 good in favorable directional splits (higher than 60/40) and long passing zones (longer than 1250 m). In  
 354 those conditions, the error was lower than 2 km/h. For short passing zones, HCM overestimated ATS in  
 355 3-4 km/h in favorable directional splits; however it underestimated ATS in -5 to -3 km/h for non-  
 356 favorable directional splits. On the other hand, HCM underestimated ATS up to 8.5 km/h in long passing  
 357 zones (L>1000 m) with non-favorable directional split.

358

359 **Table 3. HCM average error in ATS estimation depending on directional traffic volume,**  
 360 **directional split and average passing zone length**

Directional split	Traffic volume (veh/h)	Average passing zone length (m)							
		250	500	714	1000	1250	1670	2500	5000
20/80	<200	-2.43	-4.01	-2.91	-4.06	-4.29	-4.21	-4.50	-4.58
	400	-5.05	-6.96	-5.05	-7.03	-6.94	-6.88	-7.01	-6.77
	>600	-2.87	-5.80	-6.26	-7.03	-6.94	-5.16	-4.77	-8.51
30/70	<200	-0.03	-1.87	-0.96	-2.52	-2.74	-2.82	-3.05	-3.10
	400	-1.59	-3.76	-1.87	-3.74	-3.84	-3.79	-3.92	-3.80
	600	-4.25	-6.37	-4.17	-6.52	-6.43	-6.49	-6.28	-6.50
	>800	-5.50	-7.95	-5.26	-7.99	-7.98	-8.20	-8.35	-8.05
40/60	<200	1.04	-0.84	-0.23	-1.90	-2.19	-2.54	-2.72	-2.72
	400	1.42	-0.95	0.86	-1.41	-1.31	-1.36	-1.46	-1.50
	600	-0.66	-3.24	-0.85	-3.14	-3.30	-3.36	-3.37	-3.22
	800	-2.79	-5.57	-2.94	-5.48	-5.57	-5.53	-5.77	-5.48
	1000	-3.98	-6.62	-4.26	-6.70	-6.64	-6.68	-6.59	-6.72
	>1200	-5.37	-7.25	-5.73	-7.61	-7.84	-7.36	-7.51	-7.85
50/50	<200	2.20	-0.24	0.03	-1.75	-2.20	-2.54	-2.65	-2.83
	400	2.80	0.19	1.67	-0.52	-0.77	-0.85	-0.99	-1.20
	600	1.93	-0.79	1.56	-1.01	-1.07	-1.29	-1.40	-1.39
	800	0.69	-2.03	0.36	-2.39	-2.52	-2.40	-2.59	-2.41
	1000	-1.34	-4.07	-1.80	-4.06	-4.32	-4.29	-4.10	-4.08
	1200	-2.18	-4.16	-2.04	-4.16	-4.10	-4.10	-4.18	-4.10
>1400	-3.49	-6.00	-3.58	-5.74	-6.37	-6.65	-5.26	-5.85	
60/40	<200	3.09	0.47	0.88	-1.42	-2.16	-2.54	-2.61	-2.74
	400	3.18	0.56	1.78	-0.64	-0.75	-1.16	-1.31	-1.50
	600	2.99	0.13	2.38	-0.48	-0.83	-0.75	-1.06	-1.07
	800	2.67	-0.25	1.95	-0.77	-0.72	-1.11	-1.04	-1.31
	1000	1.66	-1.09	1.39	-1.35	-1.59	-1.43	-1.70	-1.50
	1200	0.98	-1.20	0.68	-1.25	-1.12	-1.31	-1.43	-1.53
>1400	-2.25	-3.15	-2.09	-3.37	-4.19	-3.50	-3.42	-3.75	
70/30	<200	4.01	1.15	1.15	-1.5	-2.04	-2.21	-2.61	-2.65
	400	4.06	1.15	2.49	-0.64	-0.82	-1.33	-1.39	-1.87
	600	3.27	0.36	2.40	-0.45	-0.96	-0.99	-1.15	-1.57
	800	3.59	0.44	2.55	-0.30	-0.77	-0.80	-1.15	-0.98
	1000	3.40	0.13	2.57	-0.25	-0.31	-0.60	-0.51	-0.95
	1200	3.62	1.57	3.33	1.21	1.17	1.03	0.90	0.84
>1400	1.05	-0.73	1.28	0.20	0.19	-1.13	-0.54	-1.73	
80/20	<200	5.21	1.88	1.82	-1.30	-1.98	-2.63	-2.50	-2.76
	400	4.99	1.90	2.61	-0.63	-1.05	-1.40	-2.04	-2.23
	600	4.15	1.37	2.62	-0.45	-0.75	-1.31	-1.61	-1.76
	800	4.24	0.92	2.72	-0.44	-1.05	-0.99	-1.17	-1.66
	1000	3.98	0.79	2.61	-0.32	-0.43	-0.55	-0.85	-1.03
	1200	4.66	2.87	4.17	1.92	1.91	1.52	1.48	1.26
>1400	2.60	1.03	1.13	-0.47	-0.51	-1.37	-0.63	-1.09	

361

362 Generally, HCM estimated better PTSF in balanced traffic volumes and long passing zones  
 363 (longer than 1670 m). However, the errors were considerable in non-favorable traffic volumes (lower  
 364 than 40/60). In those conditions, HCM underestimated PTSF in almost 19 % for very short passing  
 365 zones, and 13 % in long passing zones. As directional traffic flow was more favorable, HCM  
 366 underestimated PTSF up to 23 %. The highest differences were for low traffic volumes in long passing  
 367 zones (22 %).

368

369 **Table 4. HCM average error in PTSF estimation depending on directional traffic volume,**  
 370 **directional split and average passing zone length**

Directional split	Traffic volume (veh/h)	Average passing zone length (m)							
		250	500	714	1000	1250	1670	2500	5000
20/80	<200	-19.19	-16.16	-17.68	-15.49	-15.45	-14.71	-13.97	-13.65
	400	-18.36	-16.62	-18.73	-16.7	-16.93	-16.69	-16.80	-16.98
	>600	-7.99	-16.30	-15.46	-16.7	-16.93	-13.7	-11.57	-11.40
30/70	<200	-16.16	-12.23	-12.21	-9.27	-8.24	-7.23	-6.62	-6.43
	400	-18.03	-15.89	-17.47	-15.44	-15.43	-15.39	-15.23	-15.32
	600	-12.03	-10.88	-12.02	-10.62	-10.78	-10.65	-11.04	-10.61
	>800	-6.87	-5.36	-6.85	-5.49	-4.94	-5.31	-4.95	-5.17
40/60	<200	-10.37	-6.40	-5.17	-0.68	-0.07	2.02	2.54	3.46
	400	-14.97	-12.52	-13.1	-10.36	-10.68	-10.03	-9.47	-9.47
	600	-11.37	-9.51	-10.62	-9.09	-9.06	-8.71	-8.57	-8.64
	800	-7.78	-6.47	-7.60	-6.66	-6.38	-6.49	-6.26	-6.36
	1000	-4.76	-4.19	-4.55	-4.08	-4.12	-4.05	-4.06	-4.07
	>1200	-2.08	-1.74	-2.16	-2.06	-1.73	-2.18	-2.15	-2.28
50/50	<200	-4.08	1.02	4.38	8.17	10.41	12.1	13.36	13.22
	400	-9.12	-5.95	-5.37	-2.12	-1.41	-1.19	-0.33	0.38
	600	-8.44	-5.79	-6.72	-4.97	-4.17	-3.91	-3.49	-3.17
	800	-6.76	-5.34	-5.87	-4.53	-4.49	-4.12	-3.79	-3.91
	1000	-4.68	-3.89	-4.39	-3.63	-3.45	-3.57	-3.49	-3.48
	1200	-3.43	-3.28	-3.42	-3.25	-3.17	-3.18	-3.22	-3.20
60/40	<200	-1.71	3.48	7.24	13.26	16.18	17.55	18.79	18.92
	400	-4.67	-1.05	-0.07	3.97	4.74	5.97	7.22	7.52
	600	-6.38	-3.70	-3.63	-0.69	0.40	0.65	1.74	2.33
	800	-5.25	-3.35	-3.43	-1.80	-1.31	-0.50	-0.43	0.26
	1000	-3.83	-2.78	-3.05	-2.24	-1.48	-1.43	-1.30	-1.19
	1200	-3.43	-3.11	-3.07	-2.84	-2.82	-2.60	-2.55	-2.47
70/30	<200	-1.24	3.91	9.49	16.58	19.57	21.83	22.49	22.40
	400	-2.77	0.87	3.03	9.03	10.55	12.39	13.15	14.31
	600	-4.25	-1.37	-0.57	2.83	4.17	5.47	6.02	7.09
	800	-4.79	-2.61	-2.19	0.44	1.48	2.12	2.74	3.23
	1000	-4.23	-2.86	-2.36	-1.06	-0.53	-0.10	0.13	0.83
	1200	-3.21	-2.73	-2.61	-2.15	-2.00	-1.71	-1.38	-1.31
80/20	<200	-5.02	-0.30	8.23	15.51	18.45	21.3	22.83	22.37
	400	-4.99	-1.52	3.94	10.77	12.53	14.19	16.21	16.47
	600	-5.01	-2.19	0.92	4.67	7.22	9.06	10.36	10.34
	800	-4.43	-2.39	-0.31	2.81	4.93	5.36	6.36	7.11
	1000	-4.18	-2.73	-1.60	0.54	1.50	2.44	2.91	3.13
	1200	-4.09	-3.68	-3.11	-2.28	-1.80	-1.20	-0.82	-0.55
	>1400	-4.69	-4.18	-3.54	-2.60	-2.31	-1.66	-1.09	-0.98

371

372 **CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**

373 The study evaluates the influence of average passing zone length in traffic performance in two-lane  
 374 highways using traffic microsimulation. TWOPAS was calibrated and validated with field data in  
 375 passing zones. Then, it was applied to almost 300000 scenarios varying the average passing zone length,  
 376 percentage of no-passing zones, directional traffic volume, directional split and percentage of trucks.

377 The conclusions of the study are:

- 378 • Directional split has a profound effect on traffic performance. Therefore, directional analysis  
 379 will be preferred.
- 380 • The effect of PZL was higher where passing opportunities were usually higher, such as  
 381 favorable directional splits or low traffic volumes.
- 382 • PTSF was more affected by PZL than ATS. The differences could be up to 27 % in very short  
 383 passing zones.
- 384 • Four groups of PZL were identified: very short passing zones (250 m); short passing zones (500,  
 385 714 and 1000 m); medium passing zones (1250, 1670 m); and long passing zones (2500, 5000  
 386 m). Very short passing zones did not contribute to operational efficiency of the segment. The  
 387 effect was stabilized from passing zone lengths of 2500 m; and passing zones shorter than 1000  
 388 m do not decline traffic performance significantly.
- 389 • HCM 2010 procedure estimated fairly good ATS in favorable directional splits (higher than  
 390 60/40) and long passing zones (longer than 1250 m). In those conditions, the error was lower  
 391 than 2 km/h. For different traffic and average passing zone length, adjustments should be  
 392 incorporated. The errors were up to 8.5 km/h.
- 393 • HCM 2010 procedure could be applied to evaluate PTSF in balanced traffic flows and long  
 394 passing zones (longer than 1670 m) without many errors. The highest errors were produced in  
 395 low traffic volumes (lower than 400 veh/h). For non-favorable traffic volumes, HCM  
 396 underestimated PTSF in almost 19 %; while it overestimated PTSF in favorable traffic volumes  
 397 up to 22 %.

398 Based on the conclusions, the recommendations of the study are:

- 399 • The effect of average passing zone length must be incorporated on the procedures to evaluate  
 400 traffic performance.
- 401 • The three second headway criterion could be used to determine followers and calculate PF as  
 402 surrogate measure for PTSF, even though they are not completely related. Further study is  
 403 needed to determine the exact headway criterion, which is between 3 and 4 seconds.
- 404 • ATS and PTSF can be calculated using Equation 3 and Equation 4, respectively. The  
 405 methodology includes the effect of average passing zone length and local adjustments for the  
 406 base scenario and percentage of no-passing zones.

$$ATS = ATS_{base} + ATS_{npz} + ATS_{pzl} \quad (3a)$$

$$ATS_{base} = 89.52 - 0.01504 \cdot V_d - 0.0064 \cdot V_o - 0.0522 \cdot HV_d \quad (3b)$$

$$ATS_{npz} = -2.06 - 0.0166 \cdot V_d - 0.064 \cdot P_{npz} + 0.027 \cdot HV_d + 2.92 \cdot 10^{-5} \cdot V_d^2 - 1.45 \cdot 10^{-8} \cdot V_d^3 + 5.43 \cdot 10^{-5} \cdot P_{npz} \cdot V_o \quad (3c)$$

$$PTSF = PTSF_{base} + PTSF_{npz} + PTSF_{pzl} \quad (4a)$$

$$PTSF_{base} = 100 \cdot (1 - \exp(a \cdot V_d^b)) \quad (4b)$$

$$a = -2.12 \cdot 10^{-3} - 3.48 \cdot 10^{-5} \cdot V_o + 6.15 \cdot 10^{-4} \cdot \ln(V_o) \quad (4c)$$

$$b = 1.33 - 2.23 \cdot 10^{-5} \cdot V_o - 0.1 \cdot \ln(V_o) \quad (4d)$$

$$PTSF_{npz} = \frac{-26.86 + 0.122 \cdot V_d + 0.573 \cdot P_{npz} - 0.025 \cdot V_o}{1 + \exp(0.0025 \cdot V_d - 0.0106 \cdot P_{npz} + 0.0037 \cdot V_o)} \quad (4e)$$

407  
 408 Where:

- 409 • ATS is average travel speed (km/h).
- 410 • ATSbase is the average travel speed in base conditions (km/h).
- 411 • ATSnpz is the adjustment factor of percentage of no-passing zones for average travel speed  
 412 (km/h).

- 413 • ATSlpz is the adjustment factor of average passing zone length for average travel speed, shown  
414 in Table 1 (km/h).
- 415 • Vd is the directional traffic volume (veh/h).
- 416 • Vo is the opposing traffic volume (veh/h).
- 417 • HVd is the percentage of trucks (%).
- 418 • Pnpz is the percentage of no-passing zones (%).
- 419 • PTSF is the percent time spent following (%)
- 420 • PTSFbase is the percent time spent following in base conditions (%)
- 421 • PTSFnpz is the adjustment factor of percentage of no-passing zones for percent time spent  
422 following (%)
- 423 • PTSFlpz is the adjustment factor of average passing zone length for percent time spent  
424 following, shown in Table 2 (%).

425  
426 The conclusions of the study are limited to the observed and generated scenarios: two-lane  
427 highways with 100 km/h posted speed limit; evenly distributed passing zones; level terrain; and good  
428 pavement conditions. Scenarios with different frequency and location of passing zones than the  
429 simulated should be further studied, as well as the impact of highway alignment, type of terrain or design  
430 speed. Moreover, alternative performance measures could be considered based on percent followers,  
431 such as follower density, once the headway criterion is adequately defined. On the other hand, the  
432 dispersion of the variables could be accounted using probabilistic distribution of the variables in  
433 reliability analyses.

#### 434 **ACKNOWLEDGEMENTS**

435 This research has been partially developed as a result of a mobility stay at the University of Florida, US,  
436 funded by the Spanish Ministry of Economy under the Program Ayudas para estancias breves en otros  
437 centros de I+D del subprogram FPI, 2013.

438 The authors would like to thank Spanish Ministry of Economy that subsidized the research  
439 projects with reference code TRA2013-42578-P and TRA2010-21736, and Spanish General  
440 Directorate of Traffic and Spanish Ministry of Public Works, for their collaboration during the field  
441 study.

#### 442 **REFERENCES**

- 443 1. Ministerio de Fomento. *Instrucción de Carreteras 3.1 IC: Trazado*. 1999.
- 444 2. Transportation Research Board. *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board,  
445 2010.
- 446 3. Harwood, D. W., A. D. May, I. B. Anderson, L. Leiman, and A. R. Archilla. *Capacity and*  
447 *Quality of Service of Two-Lane Highways*. 1999.
- 448 4. Luttinen, R. T. *Uncertainty in the Operational Analysis of Two-Lane Highways*. 2001.
- 449 5. Courage, K. G., L. Elefteriadou, S. S. Washburn, and D. Nam. *Guidance for the Use of*  
450 *Alternative Traffic Analysis Tools in Highway Capacity Analyses*. NCHRP 03-85 Report. 2010.
- 451 6. Washburn, S. S., J. Li, and H. Hammontree. *Development of an Analytical Methodology for Two-*  
452 *Lane Highway Facility Analysis*. 2012.
- 453 7. Brilon, W., and F. Weiser. Two-Lane Rural Highways: The German Experience. *Transportation*  
454 *Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1988, Jan. 2006, pp. 38–  
455 47.
- 456 8. Luttinen, R. T. Percent Time-Spent-Following as Performance Measure for Two-Lane  
457 Highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*,  
458 Vol. 1776, 2001, pp. 52–59.
- 459 9. Bessa, J. E. J., and J. R. Setti. Derivation of ATS and PTSF Functions for Two-lane, Rural  
460 Highways in Brazil. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 16, Jan. 2011, pp. 282–  
461 292.
- 462 10. Maldonado, M. O., M. Herz, and J. Galarraga. Modelación de operación en carreteras argentinas  
463 y recomendaciones de ajustes al Manual de Capacidad HCM 2010. *Transportes*, Vol. 20, No. 3,  
464 2012, pp. 51–61.

- 465 11. Federal Highway Administration. *Traffic Analysis Toolbox Volume III : Guidelines for Applying*  
466 *Traffic Microsimulation Modeling Software*. 2004.
- 467 12. Egami, C., M. Mon-Ma, J. R. Setti, and L. Rilett. Automatic Calibration of Two-Lane Highway  
468 Traffic Simulation Models Using a Genetic Algorithm. 2006.
- 469 13. Barcelo, J. *Fundamentals of Traffic Simulation*. 2010.
- 470 14. Wardrop, J. G. Some theoretical aspects of road traffic research. 1952.
- 471 15. Daganzo, C. F. Probabilistic structure of two-lane road traffic. *Transportation Research*, Vol. 9,  
472 No. 6, Dec. 1975, pp. 339–346.
- 473 16. Troutbeck, R. J. OVERTAKING RATES ON LOW VOLUME ROADS. No. 11, 1982, pp. 167–  
474 174.
- 475 17. Dommerholt, W., and H. Botma. Model to Determine Operating Quality on Two-Lane Rural  
476 Roads. 1988.
- 477 18. Kaub, A. R. Passing Operations on a Recreational Two-Lane, Two-Way Highway.  
478 *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1280,  
479 1990, pp. 156–162.
- 480 19. Morrall, J., and A. Werner. Measuring Level of Service of Two-Lane Highways by Overtakings.  
481 *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1287,  
482 1990, pp. 62–69.
- 483 20. Romana, M. G. Passing Activity on Two-Lane Highways in Spain. *Transportation Research*  
484 *Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1678, 1999, pp. 90–95.
- 485 21. Hegeman, G. Overtaking Frequency. 2004.
- 486 22. Mwesige, G., H. Farah, U. Bagampadde, and H. N. Koutsopoulos. A Stochastic Model for  
487 Passing Rate at Passing Zones on Two-Lane Rural Highways in Uganda. 2014.
- 488 23. Moreno, A. T., C. Llorca, A. García, and A. M. Pérez-Zuriaga. Operational Effectiveness of  
489 Passing Zones depending on their Length and Traffic Volume. *Transportation Research Record:*  
490 *Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2395, 2013, pp. 57–65.
- 491 24. Moreno, A. T., C. Llorca, S. S. Washburn, J. E. J. Bessa, D. K. Hale, and A. García. Adaptation  
492 of the Highway Capacity Manual to Spanish Two-Lane Highways. *Journal of Transportation*  
493 *Engineering*, 2015.
- 494 25. Moreno, A. T., C. Llorca, T. Sayed, and A. García. Field Evaluation of Traffic Performance  
495 Measures for Two-Lane Highways in Spain. *Transportation Research Circular*, Vol. E-C190,  
496 2014, pp. 71–87.
- 497 26. Llorca, C., A. T. Moreno, A. García, and A. M. Pérez-Zuriaga. Daytime and Nighttime Passing  
498 Maneuvers on a Two-Lane Rural Road in Spain. *Transportation Research Record: Journal of*  
499 *the Transportation Research Board*, Vol. 2358, 2013, pp. 3–11.
- 500 27. Luttinen, R. T. Uncertainty in Operational Analysis of Two-Lane Highways. *Transportation*  
501 *Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1802, 2002, pp. 105–114.  
502

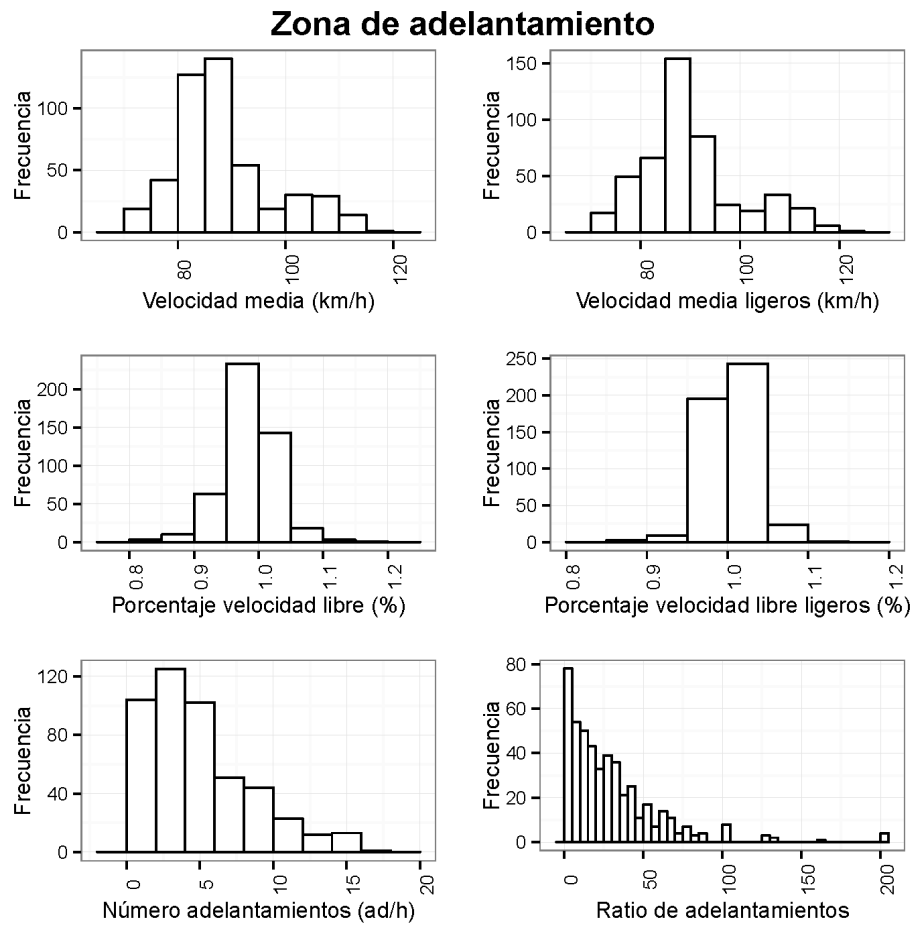




## Anexo C

# Análisis estadístico observaciones

### C.1 Análisis preliminar



**Figura C.1:** Histograma de las medidas de desempeño en las zonas de adelantamiento observadas

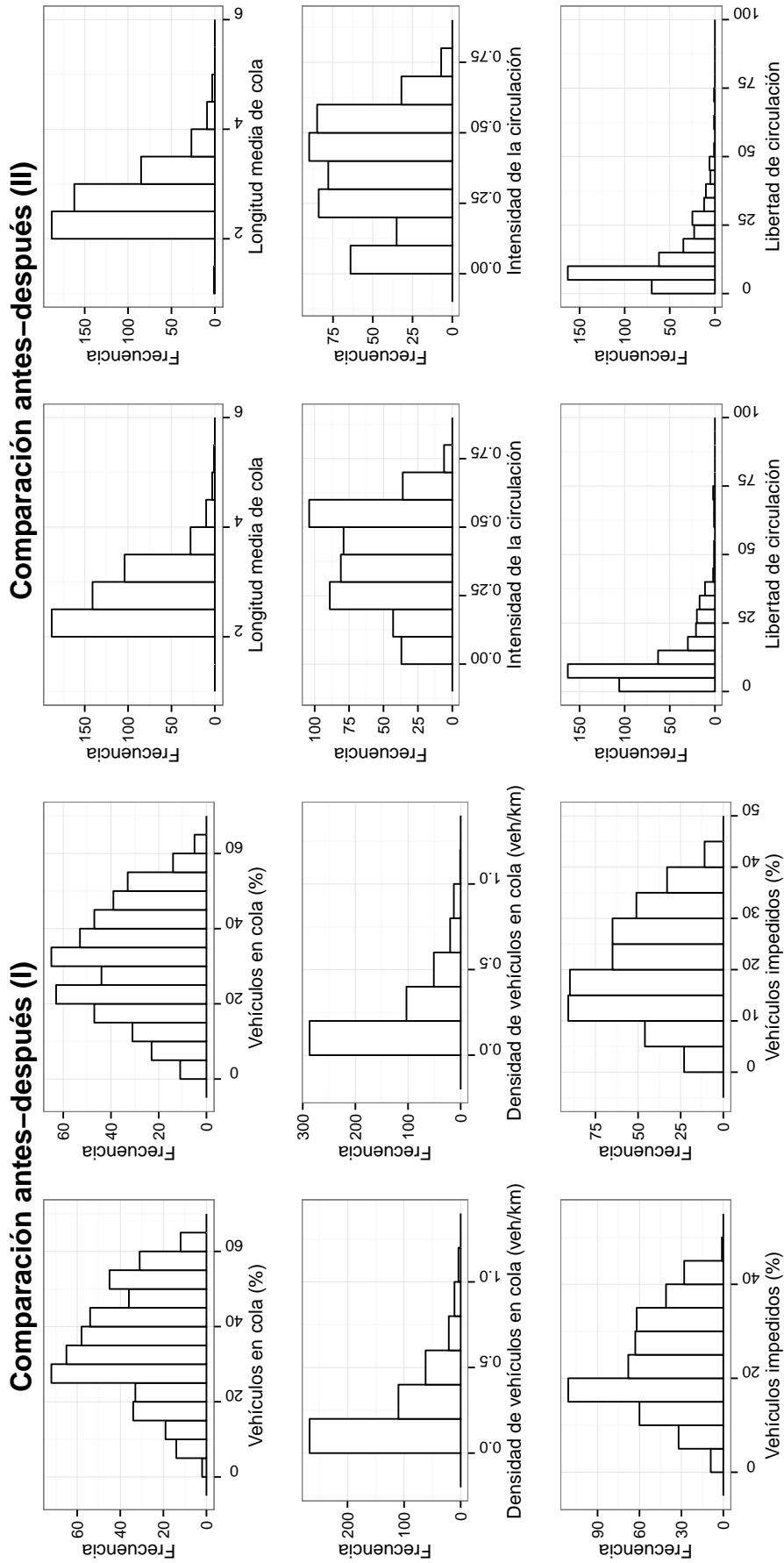


Figura C.2: Histograma de las medidas de desempeño antes y después de las zonas de adelantamiento

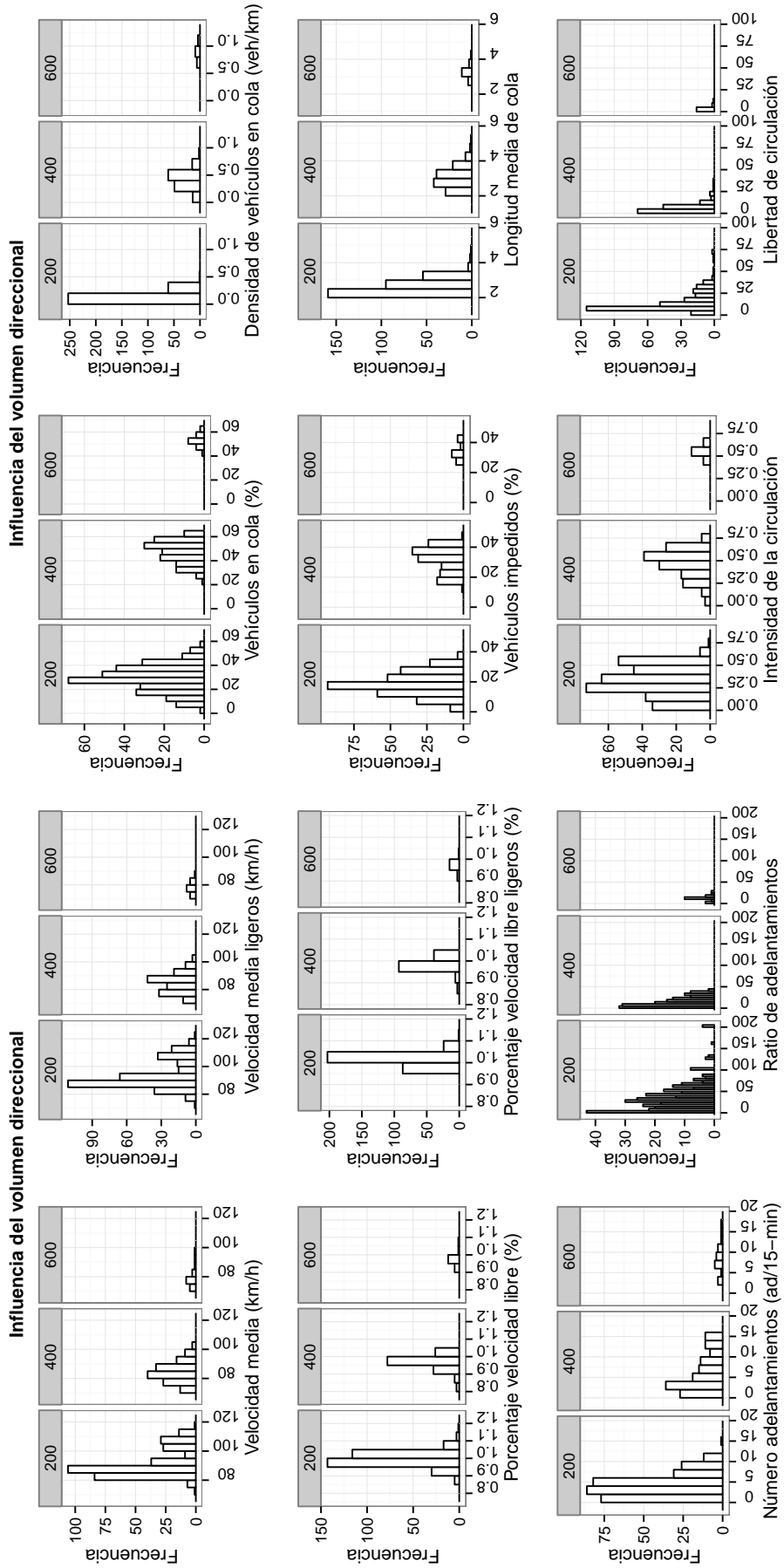


Figura C.3: Histograma de las medidas de desempeño en función del volumen direccional

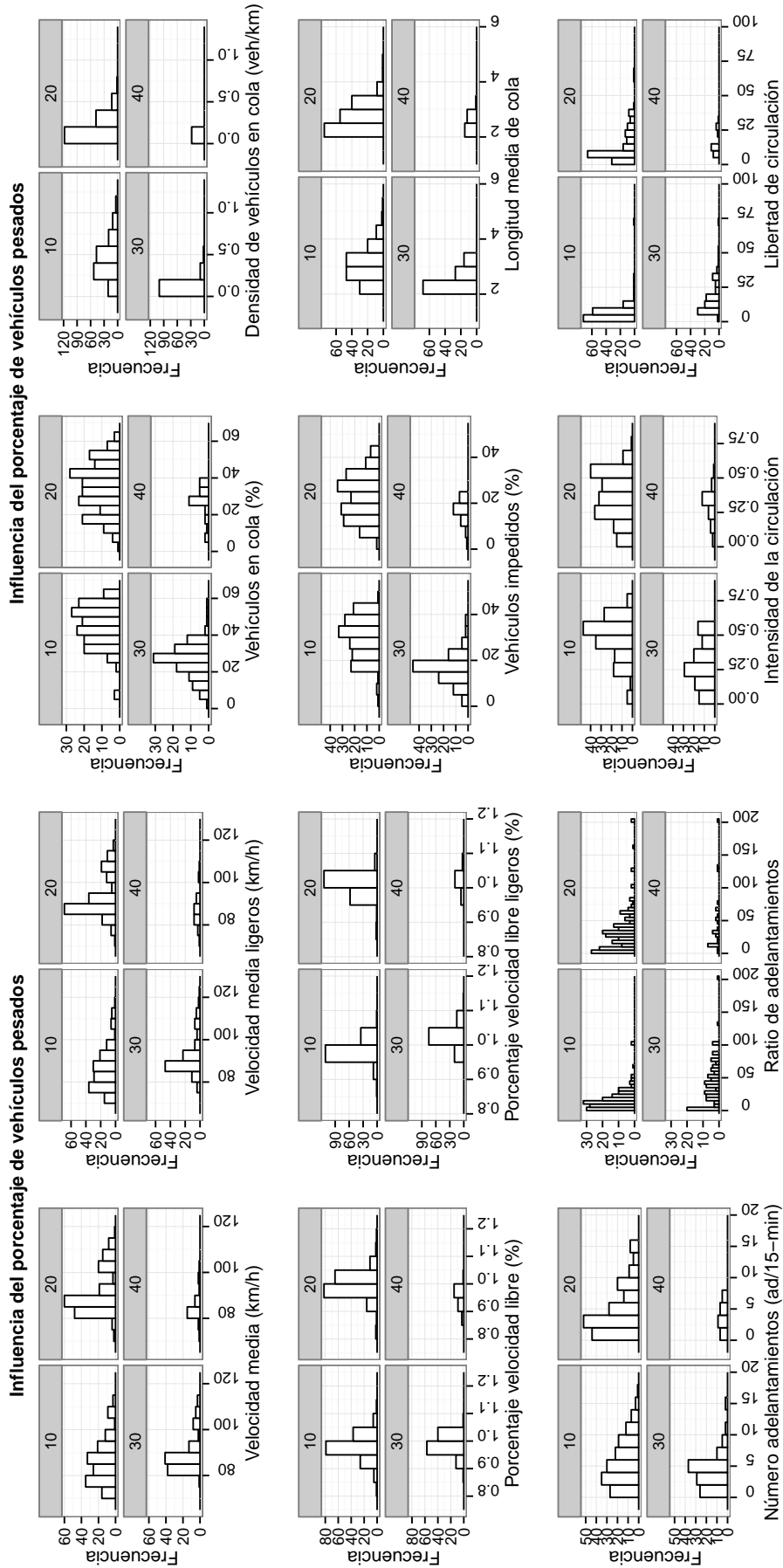


Figura C.4: Histograma de las medidas de desempeño en función del porcentaje de pesados

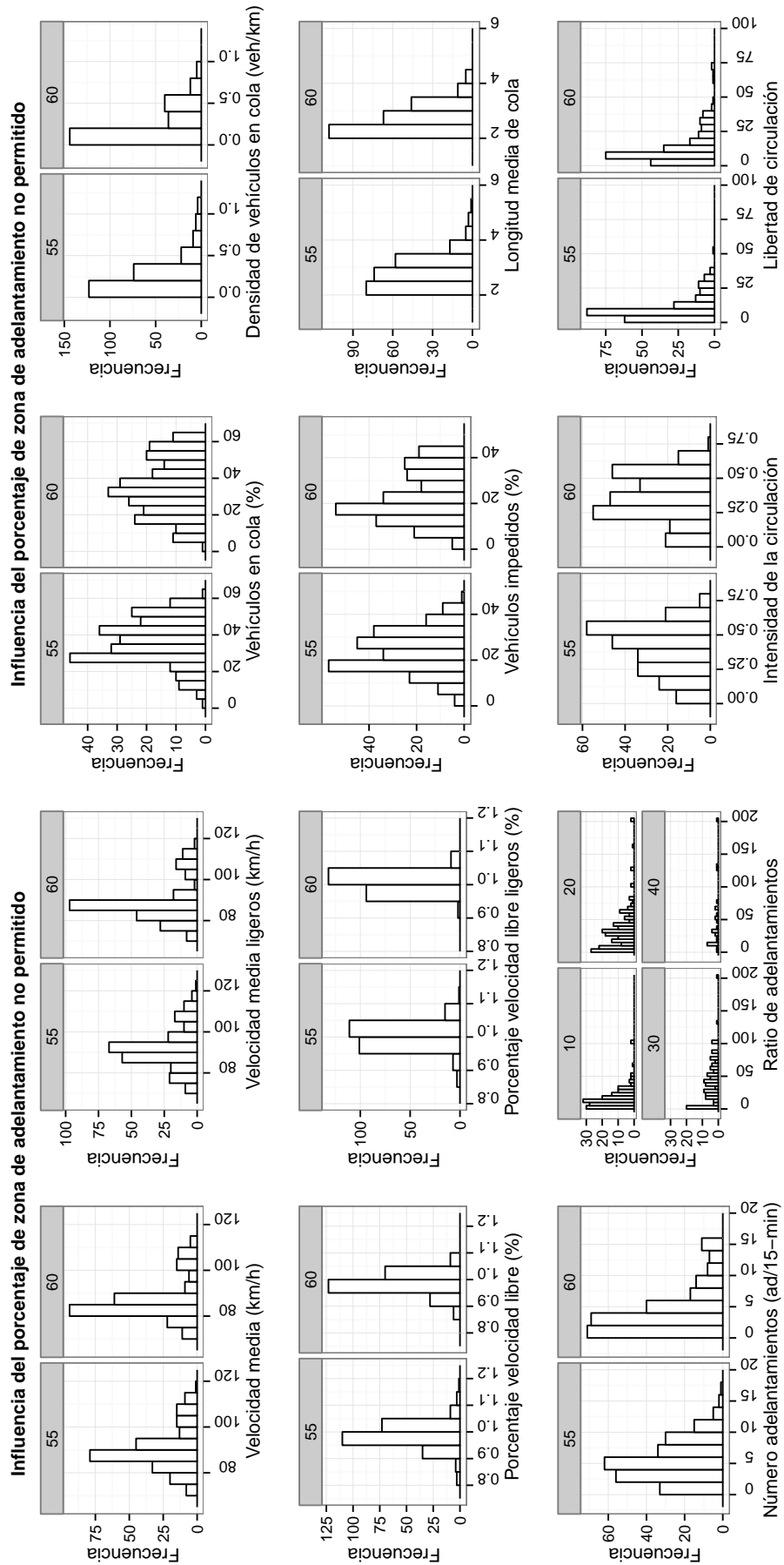


Figura C.5: Histograma de las medidas de desempeño en función del porcentaje de adelantamiento no permitido

## C.2 Modelos previos

Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	$\Delta$ AIC	R2	nvar	Modelo	coef	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo
3145	0	51.39	5	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.251	1.462	-0.387	-0.493	-0.007
3147	2	51.18	5	2	0.00	0.21	0.02	0.00	0.00	0.01	-0.154	1.452	-0.365	-0.497	-0.006
3152	7	50.41	4	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		-0.463	-0.181	-0.365	-0.498	
3159	14	49.67	4	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		-0.462	-0.185	-0.389	-0.502	
3168	23	48.57	3	2	0.00	0.00		0.00	0.00		-0.545		-1.024	-0.096	
3168	23	48.57	4	2	0.00	0.00		0.00	0.00		-0.545		-1.024	-0.096	-0.015
3172	27	48.13	3	1	0.00	0.00		0.00	0.00		-0.555		-1.046	-5.822	
3172	27	48.13	4	1	0.00	0.00		0.00	0.00		-0.555		-1.046	-5.822	-0.016
3208	63	44.24	4	1	0.00	0.44	0.00		0.00	0.00	-0.056	1.618		-0.076	-0.056
3208	63	44.27	4	2	0.00	0.81	0.02		0.00	0.01	0.051	1.548		-0.063	0.001
3212	67	43.50	3	2	0.00	0.00	0.05		0.00		-0.279	-0.087		-0.049	
3214	69	43.04	2	2	0.00	0.00			0.00		-0.334			-0.525	
3214	69	43.04	3	2	0.00	0.00			0.00		-0.334			-0.525	-0.006
3221	76	42.19	2	1	0.00	0.00			0.00		-0.320			-0.533	
3221	76	42.43	3	1	0.00	0.00	0.16		0.00		-0.271	-0.069		-2.840	
3221	76	42.19	3	1	0.00	0.00			0.00		-0.320			-0.533	-0.320
3331	186	27.75	4	1	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	-0.284	1.833	-0.467		-0.284
3335	190	27.21	4	2	0.00	0.10	0.03	0.00		0.02	-0.247	1.573	-0.441		-0.004
3338	195	26.32	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00			-0.578	-0.176	-0.441		
3346	201	25.08	3	1	0.00	0.00	0.00	0.00			-0.548	-0.214	-0.471		
3347	202	24.60	2	2	0.00	0.00		0.00			-0.657		-0.240		
3347	202	24.60	3	2	0.00	0.00		0.00			-0.657		-0.240		-0.011
3357	212	22.97	2	1	0.00	0.00		0.00			-0.658		-14.232		
3357	212	22.97	3	1	0.00	0.00		0.00			-0.658		-14.232		-0.658
3394	249	17.22	3	1	0.00	0.59	0.00			0.00	-0.048	2.052			0.057
3395	250	17.02	3	2	0.00	0.86	0.03			0.02	-0.028	1.700			0.026
3397	252	15.90	1	2	0.00	0.00					-0.399				
3397	252	15.90	2	2	0.00	0.00					-0.399				-0.007
3398	253	16.12	2	2	0.00	0.00	0.27				-0.361	-0.060			
3408	263	14.03	1	1	0.00	0.00					-0.375				
3408	263	14.33	2	1	0.00	0.00	0.20				-0.320	-0.077			
3408	263	14.03	2	1	0.00	0.00					-0.375				-0.375

Tabla C.1: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media

Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	$\Delta$ AIC	R2	nvar	Modelo	coef	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo
3218	0	51.81	5	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.242	1.633	-0.315	-0.470	-0.008
3220	2	51.59	5	2	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.109	1.762	-0.293	-0.474	-0.007
3229	11	50.49	4	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		-0.477	-0.185	-0.293	-0.475	
3236	18	49.70	4	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		-0.475	-0.187	-0.318	-0.479	
3244	26	48.59	3	2	0.00	0.00		0.00	0.00		-0.560		-0.978	-0.099	
3244	26	48.59	4	2	0.00	0.00		0.00	0.00		-0.560		-0.978	-0.099	-0.011
3249	31	48.10	3	1	0.00	0.00		0.00	0.00		-0.571		-0.999	-5.984	
3249	31	48.10	4	1	0.00	0.00		0.00	0.00		-0.571		-0.999	-5.984	-0.012
3260	42	47.07	4	1	0.00	0.24	0.00		0.00	0.00	-0.084	1.761		-0.084	-0.084
3260	42	47.15	4	2	0.00	0.75	0.00		0.00	0.00	0.040	1.840		-0.075	0.001
3267	49	46.05	3	2	0.00	0.00	0.01		0.00		-0.329	-0.109		-0.058	
3272	54	45.33	2	2	0.00	0.00			0.00		-0.398			-0.496	
3272	54	45.33	3	2	0.00	0.00			0.00		-0.398			-0.496	-0.007
3277	59	44.88	3	1	0.00	0.00	0.05		0.00		-0.320	-0.094		-3.550	
3279	61	44.44	2	1	0.00	0.00			0.00		-0.386			-0.505	
3279	61	44.44	3	1	0.00	0.00			0.00		-0.386			-0.505	-0.386
3391	173	30.36	4	1	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	-0.274	1.986	-0.391		-0.274
3395	177	29.78	4	2	0.00	0.18	0.01	0.00		0.00	-0.197	1.878	-0.365		-0.003
3401	183	28.55	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00			-0.587	-0.180	-0.366		
3409	191	27.27	3	1	0.00	0.00	0.00	0.00			-0.557	-0.217	-0.396		
3411	193	26.75	2	2	0.00	0.00		0.00			-0.668		-0.243		
3411	193	26.75	3	2	0.00	0.00		0.00			-0.668		-0.243		-0.011
3421	203	25.11	2	1	0.00	0.00		0.00			-0.669		-14.468		
3421	203	25.11	3	1	0.00	0.00		0.00			-0.669		-14.468		-0.669
3436	218	22.97	3	1	0.00	0.38	0.00			0.00	-0.076	2.170			0.059
3438	220	22.79	3	2	0.00	0.92	0.01			0.01	-0.016	1.983			0.051
3443	225	21.55	2	2	0.00	0.00	0.11				-0.407	-0.084			
3444	226	21.13	1	2	0.00	0.00					-0.460				
3444	226	21.13	2	2	0.00	0.00					-0.460				-0.008
3454	236	19.68	2	1	0.00	0.00	0.08				-0.366	-0.101			
3455	237	19.17	1	1	0.00	0.00					-0.438				
3455	237	19.17	2	1	0.00	0.00					-0.438				-0.438

Tabla C.2: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media vehículos ligeros

Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	$\Delta$ AIC	R2	nvar	Modelo	coef	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo
-1761	0	18.09	2	1	0.00	0.00		0.00			-0.583		-12.603		
-1761	0	18.09	3	1	0.00	0.00		0.00			-0.583		-12.603		-0.583
-1759	2	18.09	3	1	0.00	0.00	0.99	0.00			-0.583	-0.001	-0.442		
-1759	2	18.09	3	1	0.00	0.00		0.00	0.87		-0.582		-0.014	-6.105	
-1759	2	18.09	4	1	0.00	0.00		0.00	0.87		-0.582		-0.014	-6.105	-0.020
-1757	4	18.09	4	1	0.00	0.00	0.99	0.00	0.87		-0.582	-0.000	-0.440	-0.007	
-1757	4	18.09	4	1	0.00	0.00	0.95	0.00		0.95	-0.578	0.033	-0.442		-0.578
-1757	4	17.29	2	2	0.00	0.00		0.00			-0.550		-0.200		
-1757	4	17.29	3	2	0.00	0.00		0.00			-0.550		-0.200		-0.009
-1755	6	18.09	5	1	0.00	0.00	0.96	0.00	0.87	0.96	-0.578	0.028	-0.440	-0.007	-0.000
-1755	6	17.29	3	2	0.00	0.00	0.99	0.00			-0.550	-0.001	-0.403		
-1755	6	17.29	3	2	0.00	0.00		0.00	0.98		-0.550		0.003	-0.097	
-1755	6	17.29	4	2	0.00	0.00		0.00	0.98		-0.550		0.003	-0.097	-0.019
-1754	7	17.55	4	2	0.00	0.00	0.23	0.00		0.23	-0.728	-0.930	-0.403		-0.012
-1753	8	17.29	4	2	0.00	0.00	0.99	0.00	0.98		-0.550	-0.001	-0.403	0.001	
-1752	9	17.55	5	2	0.00	0.00	0.23	0.00	0.99	0.23	-0.728	-0.929	-0.403	0.001	0.003
-1710	51	8.63	2	1	0.00	0.00	0.04				-0.370	0.127			
-1710	51	8.77	2	2	0.00	0.00	0.07				-0.351	0.105			
-1710	51	9.02	3	2	0.00	0.00	0.31				-0.528	-0.819			-0.013
-1709	52	8.81	3	1	0.00	0.00	0.04			0.34	-0.366	0.128		-3.839	
-1709	52	8.12	1	2	0.00	0.00					-0.285				

Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de velocidad libre

Continúa

Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	Δ AIC	R2	nvar	Modelo	coef	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo
-1709	52	8.87	3	2	0.00	0.00	0.07		0.48		-0.346	0.103		-0.061	
-1709	52	8.12	2	2	0.00	0.00					-0.285				-0.005
-1708	53	8.64	3	1	0.00	0.00	0.66			0.84	-0.355	0.239			0.004
-1708	53	8.24	2	2	0.00	0.00			0.43		-0.281			-0.035	
-1708	53	8.24	3	2	0.00	0.00			0.43		-0.281			-0.035	-0.005
-1708	53	9.12	4	2	0.00	0.00	0.51		0.47	0.25	-0.525	-0.827		0.036	-0.009
-1707	54	7.82	1	1	0.00	0.00					-0.280				
-1707	54	7.82	2	1	0.00	0.00					-0.280				-0.280
-1707	54	8.81	4	1	0.00	0.00	0.71		0.35	0.89	-0.356	0.205		-0.004	-0.356
-1706	55	7.99	2	1	0.00	0.00			0.35		-0.275			-0.041	
-1706	55	7.99	3	1	0.00	0.00			0.35		-0.275			-0.041	-0.275

**Tabla C.3:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de velocidad libre

Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	Δ AIC	R2	nvar	Modelo	coef	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo
-2191	0	36.98	4	2	0.00	0.74	0.00	0.00			-0.046	1.953	0.178		-0.001
-2190	1	36.80	4	1	0.00	0.06	0.00	0.00		0.00	-0.157	1.984	0.184		-0.157
-2190	1	37.04	5	2	0.00	0.76	0.00	0.00	0.53	0.00	-0.042	1.947	0.181	-0.023	-0.007
-2189	2	36.86	5	1	0.00	0.06	0.00	0.00	0.52	0.00	-0.155	1.966	0.188	-0.024	-0.009
-2185	6	35.64	2	2	0.00	0.00					-0.452		-0.165		
-2185	6	35.81	3	2	0.00	0.00	0.26	0.00			-0.427	-0.056	0.177		
-2185	6	35.64	3	2	0.00	0.00		0.00			-0.452		-0.165		-0.008
-2184	7	35.70	3	2	0.00	0.00		0.00	0.51		-0.446		-0.050	-0.079	
-2184	7	35.70	4	2	0.00	0.00		0.00	0.51		-0.446		-0.050	-0.079	0.009
-2183	8	35.87	4	2	0.00	0.00	0.26	0.00	0.51		-0.421	-0.056	0.181	-0.025	
-2181	10	35.33	3	2	0.00	0.33	0.01			0.00	-0.135	1.902			0.029
-2180	11	35.16	3	1	0.00	0.00	0.00			0.00	-0.250	1.897			0.034
-2179	12	35.34	4	2	0.00	0.54	0.01		0.81	0.00	-0.134	1.900		-0.077	-0.002
-2178	13	35.17	4	1	0.00	0.00	0.00		0.81	0.00	-0.250	1.890		-0.090	-0.250
-2175	16	34.16	2	2	0.00	0.00	0.05				-0.514	-0.103			
-2174	17	34.13	2	1	0.00	0.00		0.00			-0.437		-9.445		
-2174	17	34.13	3	1	0.00	0.00		0.00			-0.437		-9.445		-0.437
-2173	18	34.20	3	1	0.00	0.00	0.49	0.00			-0.417	-0.038	0.179		
-2173	18	34.26	3	1	0.00	0.00		0.00	0.35		-0.430		-0.073	-4.505	
-2173	18	34.26	4	1	0.00	0.00		0.00	0.35		-0.430		-0.073	-4.505	0.009
-2173	18	34.17	3	2	0.00	0.00	0.05		0.79		-0.513	-0.103		-0.091	
-2172	19	34.32	4	1	0.00	0.00	0.51	0.00	0.36		-0.411	-0.036	0.185	-0.035	
-2172	19	33.53	1	2	0.00	0.00					-0.579				
-2172	19	33.53	2	2	0.00	0.00					-0.579				-0.010
-2170	21	33.54	2	2	0.00	0.00			0.85		-0.578			-0.007	
-2170	21	33.54	3	2	0.00	0.00			0.85		-0.578			-0.007	-0.010
-2164	27	32.64	2	1	0.00	0.00	0.09				-0.504	-0.091			
-2163	28	32.23	1	1	0.00	0.00					-0.568				
-2163	28	32.23	2	1	0.00	0.00					-0.568				-0.568
-2162	29	32.68	3	1	0.00	0.00	0.09		0.60		-0.502	-0.090		-5.263	
-2161	30	32.27	2	1	0.00	0.00			0.59		-0.566			-0.020	
-2161	30	32.27	3	1	0.00	0.00			0.59		-0.566			-0.020	-0.566

**Tabla C.4:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje velocidad libre vehículos ligeros

Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	Δ AIC	R2	nvar	Modelo	coef	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo
3367	0	63.68	4	1	0.00	0.00	0.00	0.13			1.035	1.402	-0.061		1.035
3368	1	63.49	3	1	0.00	0.00	0.00			0.00	1.066	1.431			0.026
3369	2	63.53	4	1	0.00	0.00	0.00		0.52	0.00	1.066	1.416		-0.069	1.066
3369	2	63.69	5	1	0.00	0.00	0.00	0.14	0.64	0.00	1.036	1.392	-0.059	-0.013	-0.007
3385	18	61.96	2	1	0.00	0.00	0.00				0.868	-0.121			
3385	18	62.16	3	1	0.00	0.00	0.00	0.11			0.837	-0.140	-0.065		
3386	19	62.21	4	1	0.00	0.00	0.00	0.14	0.46		0.840	-0.138	-0.061	-0.021	
3387	20	62.03	3	1	0.00	0.00	0.00		0.36		0.870	-0.120		9.126	
3392	25	61.23	1	1	0.00	0.00					0.782				
3392	25	61.23	2	1	0.00	0.00					0.782				0.782
3393	26	61.30	2	1	0.00	0.00			0.34		0.785			-0.027	
3393	26	61.30	3	1	0.00	0.00			0.34		0.785			-0.027	0.785
3394	27	61.27	2	1	0.00	0.00		0.50			0.764		16.524		
3394	27	61.27	3	1	0.00	0.00		0.50			0.764		16.524		0.764
3395	28	61.33	3	1	0.00	0.00		0.57	0.38		0.770		-0.052	8.069	
3395	28	61.33	4	1	0.00	0.00		0.57	0.38		0.770		-0.052	8.069	-0.001
3428	61	58.71	4	2	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	1.149	2.008	-0.152		0.019
3429	62	58.80	5	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	1.155	2.001	-0.148	-0.029	-0.008
3440	73	57.50	3	2	0.00	0.00	0.00			0.00	1.225	2.051			0.032
3440	73	57.67	4	2	0.00	0.00	0.00		0.17	0.00	1.229	2.040		-0.083	0.021
3442	75	57.36	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00			0.740	-0.153	-0.152		
3443	76	57.45	4	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31		0.747	-0.153	-0.148	-0.031	
3453	86	56.14	2	2	0.00	0.00	0.00				0.815	-0.113			
3453	86	56.32	3	2	0.00	0.00	0.00		0.16		0.822	-0.115		0.145	
3454	87	56.06	2	2	0.00	0.00		0.01			0.672		0.245		
3454	87	56.06	3	2	0.00	0.00		0.01			0.672		0.245		0.011
3455	88	56.15	3	2	0.00	0.00		0.01	0.34		0.679		-0.062	0.120	
3455	88	56.15	4	2	0.00	0.00		0.01	0.34		0.679		-0.062	0.120	-0.005
3459	92	55.38	1	2	0.00	0.00					0.744				
3459	92	55.38	2	2	0.00	0.00					0.744				0.013
3460	93	55.53	2	2	0.00	0.00			0.20		0.749			-0.039	
3460	93	55.53	3	2	0.00	0.00			0.20		0.749			-0.039	0.013

**Tabla C.5:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de vehículos en cola

Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	Δ AIC	R2	nvar	Modelo	coef	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo
-1084	0	87.43	2	2	0.00	0.00	0.00				0.974	-0.064			
-1082	2	87.43	3	2	0.00	0.00	0.00	0.94			0.975	-0.064	0.002		
-1082	2	87.44	3	2	0.00	0.00	0.00		0.58		0.976	-0.065		0.173	

*Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de densidad de vehículos en cola*

*Continúa*

Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	Δ AIC	R2	nvar	Modelo	coef	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo
-1082	2	87.44	3	2	0.00	0.00	0.82			0.66	1.000	0.070			0.001
-1081	3	87.45	4	2	0.00	0.00	0.82		0.59	0.66	1.001	0.068		-0.005	0.017
-1080	4	87.44	4	2	0.00	0.00	0.00	0.89	0.57		0.977	-0.064	0.003	-0.009	
-1080	4	87.44	4	2	0.00	0.00	0.82	0.94		0.66	1.001	0.071	0.002		0.017
-1079	5	87.45	5	2	0.00	0.00	0.82	0.89	0.58	0.66	1.002	0.068	0.003	-0.009	-0.000
-1077	7	87.19	1	2	0.00	0.00					0.954				
-1077	7	87.19	2	2	0.00	0.00					0.954				0.016
-1076	8	87.21	2	2	0.00	0.00		0.37			0.947		0.345		
-1076	8	87.21	3	2	0.00	0.00		0.37			0.947		0.345		0.016
-1075	9	87.19	2	2	0.00	0.00			0.67		0.935			-0.007	
-1075	9	87.19	3	2	0.00	0.00			0.67		0.935			-0.007	0.016
-1074	10	87.22	3	2	0.00	0.00		0.54	0.59		0.949		-0.018	0.168	
-1074	10	87.22	4	2	0.00	0.00		0.54	0.59		0.949		-0.018	0.168	0.001
-923	161	82.45	3	1	0.00	0.00	0.00			0.00	0.524	-2.734			-0.049
-922	162	82.46	4	1	0.00	0.00	0.00		0.87	0.00	0.524	-2.732		0.124	0.524
-921	163	82.45	4	1	0.00	0.00	0.00	0.97		0.00	0.525	-2.734	0.001		0.525
-920	164	82.46	5	1	0.00	0.00	0.00	0.99	0.87	0.00	0.525	-2.732	0.000	0.003	0.012
-812	272	77.65	1	1	0.00	0.00					0.881				
-812	272	77.65	2	1	0.00	0.00					0.881				0.881
-811	273	77.65	2	1	0.00	0.00	0.76				0.875	0.009			
-811	273	77.68	2	1	0.00	0.00			0.40		0.879			0.018	
-811	273	77.68	3	1	0.00	0.00			0.40		0.879			0.018	0.879
-810	274	77.65	2	1	0.00	0.00		0.89			0.884		19.112		
-810	274	77.65	3	1	0.00	0.00		0.89			0.884		19.112		0.884
-809	275	77.65	3	1	0.00	0.00	0.72	0.81			0.878	0.012	0.007		
-809	275	77.68	3	1	0.00	0.00	0.77		0.41		0.875	0.009		9.153	
-809	275	77.68	3	1	0.00	0.00		0.96	0.41		0.880		0.037	9.232	
-809	275	77.68	4	1	0.00	0.00		0.96	0.41		0.880		0.037	9.232	0.000
-807	277	77.68	4	1	0.00	0.00	0.75	0.89	0.42		0.875	0.010	0.005	0.018	

Tabla C.6: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de densidad de vehículos en cola

Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	Δ AIC	R2	nvar	Modelo	coef	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo
3088	0	62.22	5	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	1.019	1.765	-0.135	-0.067	-0.008
3092	4	61.78	4	1	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	1.015	1.816	-0.146		1.015
3097	9	61.55	4	1	0.00	0.00	0.00		0.01	0.00	1.087	1.820		-0.087	1.087
3102	14	60.75	3	1	0.00	0.00	0.00			0.00	1.088	1.884			0.034
3114	26	59.90	4	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01		0.775	-0.145	-0.138	-0.077	
3119	31	59.32	3	1	0.00	0.00	0.00	0.00			0.762	-0.150	-0.151		
3123	35	58.99	3	1	0.00	0.00	0.01		0.00		0.842	-0.105		8.834	
3124	36	58.94	3	1	0.00	0.00		0.02	0.01		0.701		-0.168	7.348	
3124	36	58.94	4	1	0.00	0.00		0.02	0.01		0.701		-0.168	7.348	-0.004
3127	39	58.44	2	1	0.00	0.00			0.00		0.768			-0.089	
3127	39	58.44	3	1	0.00	0.00			0.00		0.768			-0.089	0.768
3129	41	58.28	2	1	0.00	0.00		0.01			0.684		14.790		
3129	41	58.28	3	1	0.00	0.00		0.01			0.684		14.790		0.684
3130	42	58.22	2	1	0.00	0.00	0.01				0.854	-0.106			
3134	46	57.66	1	1	0.00	0.00					0.759				
3134	46	57.66	2	1	0.00	0.00					0.759				0.759
3158	70	56.22	5	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	1.108	2.168	-0.229	-0.082	-0.008
3163	75	55.56	4	2	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	1.092	2.188	-0.242		0.018
3173	85	54.65	4	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01		0.668	-0.156	-0.229	-0.084	
3178	90	53.97	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00			0.649	-0.155	-0.242		
3185	97	53.29	3	2	0.00	0.00		0.00	0.01		0.598		-0.171	0.106	
3185	97	53.51	4	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.224	2.229		-0.089	0.021
3185	97	53.29	4	2	0.00	0.00		0.00	0.01		0.598		-0.171	0.106	-0.009
3190	102	52.62	2	2	0.00	0.00		0.00			0.579		0.211		
3190	102	52.62	3	2	0.00	0.00		0.00			0.579		0.211		0.010
3193	105	52.50	3	2	0.00	0.00	0.00			0.00	1.213	2.258			0.035
3198	110	51.94	3	2	0.00	0.00	0.02		0.00		0.784	-0.097		0.139	
3202	114	51.37	2	2	0.00	0.00			0.00		0.722			-0.100	
3202	114	51.37	3	2	0.00	0.00			0.00		0.722			-0.100	0.012
3207	119	50.90	2	2	0.00	0.00	0.03				0.768	-0.092			
3209	121	50.40	1	2	0.00	0.00					0.710				
3209	121	50.40	2	2	0.00	0.00					0.710				0.012

Tabla C.7: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de vehículos impedidos

Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	Δ AIC	R2	nvar	Modelo	coef	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo
-1414	0	36.05	2	1	0.00	0.00			0.01		-0.603			0.098	
-1414	0	36.05	3	1	0.00	0.00			0.01		-0.603			0.098	-0.603
-1413	1	36.29	3	1	0.00	0.00		0.19	0.01		-0.556		0.192	-5.831	
-1413	1	36.29	4	1	0.00	0.00		0.19	0.01		-0.556		0.192	-5.831	0.003
-1412	2	36.05	3	1	0.00	0.00	0.98		0.01		-0.602	-0.001		-6.309	
-1412	2	36.30	4	1	0.00	0.00	0.71	0.17	0.01		-0.566	0.020	0.072	0.093	
-1410	4	36.16	4	1	0.00	0.00	0.38		0.01	0.38	-0.654	-0.412		0.019	-0.654
-1410	4	36.41	5	1	0.00	0.00	0.41	0.18	0.02	0.38	-0.618	-0.383	0.072	0.091	0.002
-1409	5	35.10	1	1	0.00	0.00					-0.592				
-1409	5	35.44	2	1	0.00	0.00		0.12			-0.537		-11.611		
-1409	5	35.10	2	1	0.00	0.00					-0.592				-0.592
-1409	5	35.44	3	1	0.00	0.00		0.12			-0.537		-11.611		-0.537
-1407	7	35.10	2	1	0.00	0.00	1.00				-0.593	0.000			
-1407	7	35.47	3	1	0.00	0.00	0.64	0.10			-0.550	0.026	0.087		
-1406	8	35.25	3	1	0.00	0.00	0.29			0.29	-0.655	-0.491			-0.009
-1406	8	35.61	4	1	0.00	0.00	0.34	0.10		0.30	-0.612	-0.451	0.086		-0.612
-1399	15	34.39	3	2	0.00	0.00		0.02	0.01		-0.505		0.203	-0.089	
-1399	15	34.39	4	2	0.00	0.00		0.02	0.01		-0.505		0.203	-0.089	0.005
-1398	16	34.52	4	2	0.00	0.00	0.34	0.01	0.01		-0.527	0.047	0.150	0.099	
-1397	17	34.63	5	2	0.00	0.00	0.40	0.01	0.01	0.36	-0.647	-0.589	0.150	0.098	0.002
-1396	18	33.63	2	2	0.00	0.00			0.00		-0.583			0.109	
-1396	18	33.63	3	2	0.00	0.00			0.00		-0.583			0.109	-0.010
-1395	19	33.45	2	2	0.00	0.00		0.01			-0.483		-0.176		
-1395	19	33.45	3	2	0.00	0.00		0.01			-0.483		-0.176		-0.008
-1394	20	33.57	3	2	0.00	0.00	0.36	0.00			-0.504	0.046	0.145		
-1394	20	33.65	3	2	0.00	0.00	0.77		0.00		-0.592	0.014		-0.105	
-1393	21	33.70	4	2	0.00	0.00	0.38	0.01		0.34	-0.629	-0.613	0.145		-0.011
-1393	21	33.76	4	2	0.00	0.00	0.37		0.00	0.36	-0.713	-0.623		0.024	-0.012
-1390	24	32.47	1	2	0.00	0.00					-0.570				
-1390	24	32.47	2	2	0.00	0.00					-0.570				-0.010

Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de longitud media de cola (inverso)

Continúa



Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	Δ AIC	R2	nvar	Modelo	coef	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo
-1388	26	32.47	2	2	0.00	0.00	0.86				-0.575	0.008			
-1387	27	32.60	3	2	0.00	0.00	0.35			0.35	-0.701	-0.654			-0.010

Tabla C.8: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de longitud media de cola (inverso)

Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	Δ AIC	R2	nvar	Modelo	coef	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo
-472	0	34.48	2	1	0.00	0.00			0.02		0.590			-0.090	
-472	0	34.48	3	1	0.00	0.00			0.02		0.590			-0.090	0.590
-471	1	34.59	3	1	0.00	0.00		0.37	0.02		0.557		-0.178	5.843	
-471	1	34.59	4	1	0.00	0.00		0.37	0.02		0.557		-0.178	5.843	-0.002
-470	2	34.48	3	1	0.00	0.00	0.97		0.02		0.588	0.002		6.169	
-470	2	34.77	4	1	0.00	0.00	0.15		0.02	0.15	0.674	0.678		-0.031	0.674
-469	3	34.60	4	1	0.00	0.00	0.82	0.35	0.02		0.564	-0.013	-0.050	-0.086	
-469	3	34.89	5	1	0.00	0.00	0.16	0.36	0.03	0.15	0.650	0.659	-0.049	-0.083	-0.003
-468	4	35.68	1	1	0.00	0.00					0.580				
-468	4	35.68	2	1	0.00	0.00					0.580				0.580
-467	5	35.86	2	1	0.00	0.00		0.25			0.540		11.666		
-467	5	34.05	3	1	0.00	0.00	0.11			0.11	0.676	0.750			0.014
-467	5	35.86	3	1	0.00	0.00		0.25			0.540		11.666		0.540
-466	6	35.68	2	1	0.00	0.00	0.99				0.580	0.001			
-466	6	34.22	4	1	0.00	0.00	0.13	0.25		0.12	0.644	0.721	-0.062		0.644
-465	7	35.87	3	1	0.00	0.00	0.74	0.25			0.549	-0.018	-0.064		
-454	18	32.21	3	2	0.00	0.00		0.04	0.02		0.498		-0.187	0.088	
-454	18	32.21	4	2	0.00	0.00		0.04	0.02		0.498		-0.187	0.088	-0.005
-452	20	31.63	2	2	0.00	0.00			0.01		0.566			-0.100	
-452	20	32.29	4	2	0.00	0.00	0.47	0.05	0.02		0.514	-0.057	-0.112	-0.091	
-452	20	31.63	3	2	0.00	0.00			0.01		0.566			-0.100	0.010
-452	20	32.48	5	2	0.00	0.00	0.27	0.05	0.02	0.24	0.669	0.783	-0.112	-0.090	-0.003
-450	22	31.42	2	2	0.00	0.00		0.02			0.477		0.174		
-450	22	31.64	3	2	0.00	0.00	0.88		0.01		0.571	-0.008		0.101	
-450	22	31.42	3	2	0.00	0.00		0.02			0.477		0.174		0.008
-449	23	31.49	3	2	0.00	0.00	0.48	0.02			0.495	-0.056	-0.126		
-449	23	31.83	4	2	0.00	0.00	0.25		0.01	0.25	0.726	0.813		-0.051	0.012
-448	24	31.70	4	2	0.00	0.00	0.26	0.02		0.23	0.652	0.805	-0.126		0.011
-447	25	30.66	1	2	0.00	0.00					0.554				
-447	25	30.66	2	2	0.00	0.00					0.554				0.009
-445	27	30.66	2	2	0.00	0.00	0.96				0.555	-0.003			
-444	28	30.86	3	2	0.00	0.00	0.24			0.24	0.715	0.841			0.013

Tabla C.9: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de intensidad de circulación

Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	Δ AIC	R2	nvar	Modelo	coef	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo	Vd	Vo	HVd	Pzna	Vd:Vo
-1243	0	51.60	4	1	0.00	0.00	0.03	0.07	0.00		0.731	-0.101	-0.083	-0.092	
-1243	0	51.80	5	1	0.00	0.00	0.25	0.08	0.01	0.16	0.805	0.464	-0.082	-0.089	-0.002
-1243	0	51.76	5	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.051	1.744	-0.137	-0.104	-0.007
-1242	1	51.27	3	1	0.00	0.00	0.09				0.772	-0.077		8.090	
-1242	1	51.48	4	1	0.00	0.00	0.22			0.15	0.844	0.497		-0.026	0.844
-1241	2	50.97	2	1	0.00	0.00					0.717			-0.100	
-1241	2	51.13	3	1	0.00	0.00		0.22	0.00		0.679		-0.197	7.122	
-1241	2	50.97	3	1	0.00	0.00			0.00		0.717		-0.100	-0.100	0.717
-1241	2	51.13	4	1	0.00	0.00		0.22	0.00		0.679		-0.197	7.122	-0.005
-1258	5	51.02	4	1	0.00	0.00	0.19	0.04		0.12	0.797	0.531	-0.097		0.797
-1257	6	50.76	3	1	0.00	0.00	0.03	0.04			0.715	-0.107	-0.098		
-1255	8	50.30	2	1	0.00	0.00	0.09				0.762	-0.078			
-1255	8	50.57	3	1	0.00	0.00	0.16			0.11	0.846	0.576			0.010
-1255	8	50.74	4	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.697	-0.129	-0.137	-0.105	
-1255	8	50.71	4	2	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	1.032	1.769	-0.153		0.017
-1255	8	50.79	4	2	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	1.120	1.780		-0.072	0.019
-1254	9	49.99	1	1	0.00	0.00					0.707				
-1254	9	50.24	2	1	0.00	0.00		0.13			0.660		14.264		
-1254	9	49.99	2	1	0.00	0.00					0.707				0.707
-1254	9	50.24	3	1	0.00	0.00		0.13			0.660		14.264		0.660
-1228	15	49.77	3	2	0.00	0.00	0.03		0.00		0.766	-0.094		0.13	
-1228	15	49.81	3	2	0.00	0.00		0.02	0.00		0.639		-0.215	0.113	
-1228	15	49.81	4	2	0.00	0.00		0.02	0.00		0.639		-0.215	0.113	-0.005
-1227	16	49.66	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00			0.673	-0.128	-0.153		
-1225	18	49.24	2	2	0.00	0.00			0.00		0.707			-0.113	
-1225	18	49.49	3	2	0.00	0.00	0.00			0.00	1.108	1.813			0.028
-1225	18	49.24	3	2	0.00	0.00			0.00		0.707			-0.113	0.012
-1220	23	48.75	2	2	0.00	0.00		0.01			0.615		0.224		
-1220	23	48.75	3	2	0.00	0.00		0.01			0.615		0.224		0.010
-1217	26	48.44	2	2	0.00	0.00	0.04				0.748	-0.088			
-1215	28	47.98	1	2	0.00	0.00					0.693				
-1215	28	47.98	2	2	0.00	0.00					0.693				0.012

Tabla C.10: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de libertad de circulación (inverso)

### C.3 Modelos finales

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
Coef	1.591E+02	3.81E+00	4.18E+01	9.00E-151	
Vd	-3.863E-02	5.16E-03	-7.49E+00	4.15E-13	-3.84E-01
HV	-3.340E-01	4.59E-02	-7.28E+00	1.66E-12	-3.70E-01
Pzna	-9.748E-01	6.63E-02	-1.47E+01	1.19E-39	-5.45E-01

Residual standard error: 6.409 on 415 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.4555, Adjusted R-squared: 0.4516  
 F-statistic: 115.7 on 3 and 415 DF, p-value: <2.2e-16

**Tabla C.11:** Modelo final ATS - vlim 100

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
Coef	7.769E+01	1.30E+00	5.96E+01	3.01E-50	
Vd	-6.555E-03	2.90E-03	-2.26E+00	2.79E-02	-3.03E-01
HV	1.055E-01	1.35E-01	7.83E-01	4.37E-01	1.05E-01

Residual standard error: 2.247 on 53 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.08961, Adjusted R-squared: 0.05526  
 F-statistic: 2.608 on 2 and 53 DF, p-value: 0.08308

**Tabla C.12:** Modelo final ATS - 80

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
Coef	1.633E+02	4.19E+00	3.90E+01	6.28E-141	
Vd	-4.609E-02	5.67E-03	-8.13E+00	4.85E-15	-4.25E-01
HV	-2.938E-01	5.04E-02	-5.83E+00	1.12E-08	-3.02E-01
Pzna	-1.002E+00	7.29E-02	-1.37E+01	1.06E-35	-5.20E-01

Residual standard error: 7.044 on 415 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.4344, Adjusted R-squared: 0.4303  
 F-statistic: 106.2 on 3 and 415 DF, p-value: <2.2e-16

**Tabla C.13:** Modelo final ATSpC - 100

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
Coef	7.787E+01	1.35E+00	5.76E+01	1.83E-49	
Vd	-7.248E-03	3.01E-03	-2.41E+00	1.95E-02	-3.20E-01
HV	1.484E-01	1.40E-01	1.06E+00	2.93E-01	1.41E-01

Residual standard error: 2.331 on 53 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.1038, Adjusted R-squared: 0.06998  
 F-statistic: 3.069 on 2 and 53 DF, p-value: 0.0548

**Tabla C.14:** Modelo final ATS - 80

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
Coef	1.060E+00	7.93E-03	1.34E+02	0.00E+00	
ln(Vd)	-2.191E-04	2.22E-05	-9.88E+00	4.96E-21	-5.50E-01
HV	-1.759E-03	2.43E-04	-7.23E+00	2.00E-12	-4.02E-01

Residual standard error: 0.03773 on 471 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.1729, Adjusted R-squared: 0.1694  
 F-statistic: 49.23 on 2 and 471 DF, p-value: <2.2e-16

**Tabla C.15:** Modelo final PFFS

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
Coef	1.024E+00	5.07E-03	2.02E+02	0.00E+00	
ln(Vd)	-1.305E-04	1.42E-05	-9.20E+00	1.14E-18	-4.52E-01
HV	6.115E-04	1.56E-04	3.93E+00	9.71E-05	1.93E-01

Residual standard error: 0.02412 on 472 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.3564, Adjusted R-squared: 0.3537  
F-statistic: 130.7 on 2 and 472 DF, p-value: <2.2e-16

**Tabla C.16:** Modelo final PFFSp

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
Coef	-6.069E+01	1.81E-02	6.03E+01	8.85E-208	
ln(Vd)	2.4429E+02	4.20E-03	-5.91E+00	7.11E-09	0.00E+00

Residual standard error: 8.566 on 473 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.6123, Adjusted R-squared: 0.6115  
F-statistic: 747 on 1 and 473 DF, p-value: <2.2e-16

**Tabla C.17:** Modelo final PF1

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
Coef	-1.833E-01	8.41E-03	-2.18E+01	2.00E-73	
Vd	1.946E-03	3.43E-05	5.67E+01	3.63E-213	9.34E-01

Residual standard error: 0.07757 on 473 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.8719, Adjusted R-squared: 0.8716  
F-statistic: 3218 on 1 and 473 DF, p-value: <2.2e-16

**Tabla C.18:** Modelo final FD1

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
Coef	-6.894E+01	3.64E+00	-1.89E+01	6.85E-60	
ln(Vd)	1.737E+01	6.84E-01	2.54E+01	2.61E-90	7.59E-01

Residual standard error: 6.527 on 473 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.5766, Adjusted R-squared: 0.5757  
F-statistic: 644.1 on 1 and 473 DF, p-value: <2.2e-16

**Tabla C.19:** Modelo final PI1

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
Coef	7.923E-01	4.14E-02	1.91E+01	9.68E-61	
ln(Vd)	-9.328E-02	5.73E-03	-1.63E+01	1.24E-47	-6.03E-01
Pzna	1.453E-03	5.46E-04	2.66E+00	8.09E-03	9.84E-02

0.05435 on 472 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.3605, Adjusted R-squared: 0.3578  
F-statistic: 133.1 on 2 and 472 DF, p-value: <2.2e-16

**Tabla C.20:** Modelo final inv(APL1)

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
Coef	-7.204E-01	1.12E-01	-6.45E+00	2.78E-10	
ln(Vd)	2.430E-01	1.54E-02	1.57E+01	3.55E-45	5.90E-01
Pzna	-3.542E-03	1.47E-03	-2.41E+00	1.65E-02	-9.01E-02

0.1465 on 472 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.3448, Adjusted R-squared: 0.342  
F-statistic: 124.2 on 2 and 472 DF, p-value: <2.2e-16

**Tabla C.21:** Modelo final TI1

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
Coef	-5.618E-01	4.97E-02	-1.13E+01	2.21E-26	
ln(Vd)	1.521E-01	6.87E-03	2.21E+01	5.32E-75	7.17E-01
Pzna	-2.013E-03	6.55E-04	-3.07E+00	2.24E-03	-9.96E-02

0.06517 on 472 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.5097, Adjusted R-squared: 0.5076  
 F-statistic: 245.4 on 2 and 472 DF, p-value: <2.2e-16

**Tabla C.22:** Modelo final inv(FF1)

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
(Intercept)	-4.444e+00	3.495e-01	-12.715	<2e-16	
Vd	7.065e-03	5.927e-04	11.921	<2e-16	5.08e-02
log(Lza)	8.995e-01	5.023e-02	17.908	<2e-16	3.92e-02
Vdh:Voh	-8.207e-06	1.201e-06	-6.834	2.57e-11	-6.47e-05

**Tabla C.23:** Modelo final adelantamientos

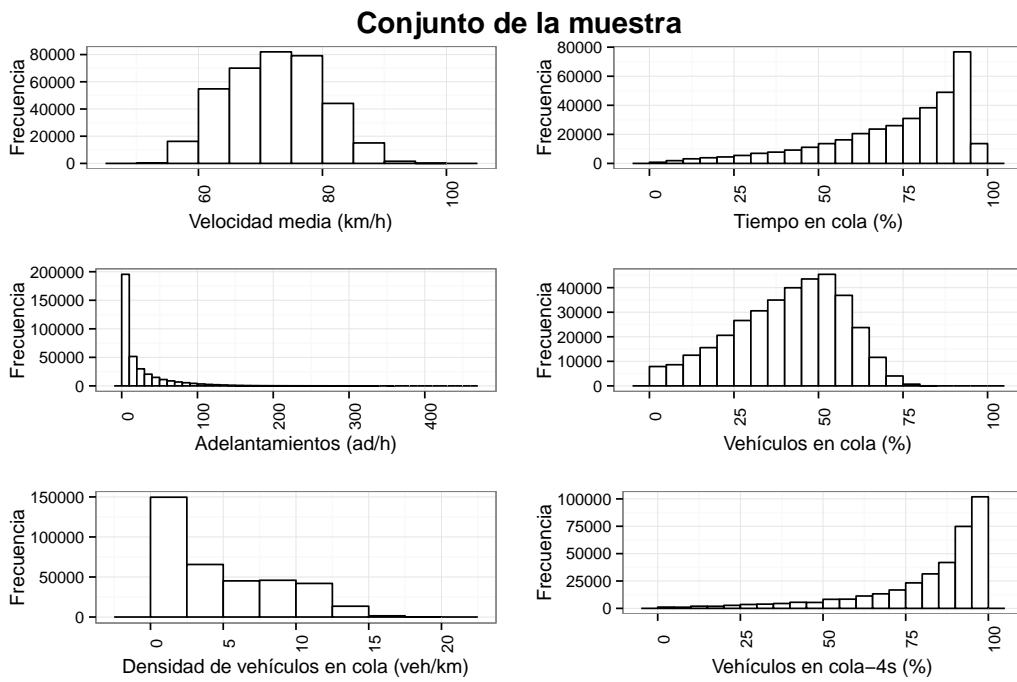
Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	Beta
(Intercept)	2.562	4.53E-01	1.57E+00	1.18E-01	
Vd	-5.5E-03	1.21E-02	5.19E+00	3.17E-07	2.20E-01
Lza	3.59E-03	1.80E-04	2.04E+01	5.52E-67	6.60E-01

**Tabla C.24:** Modelo final ratio adelantamientos (raíz)

## Anexo D

# Análisis estadístico microsimulación

### D.1 Análisis preliminar



**Figura D.1:** Histograma de las medidas de desempeño principales del conjunto de la muestra

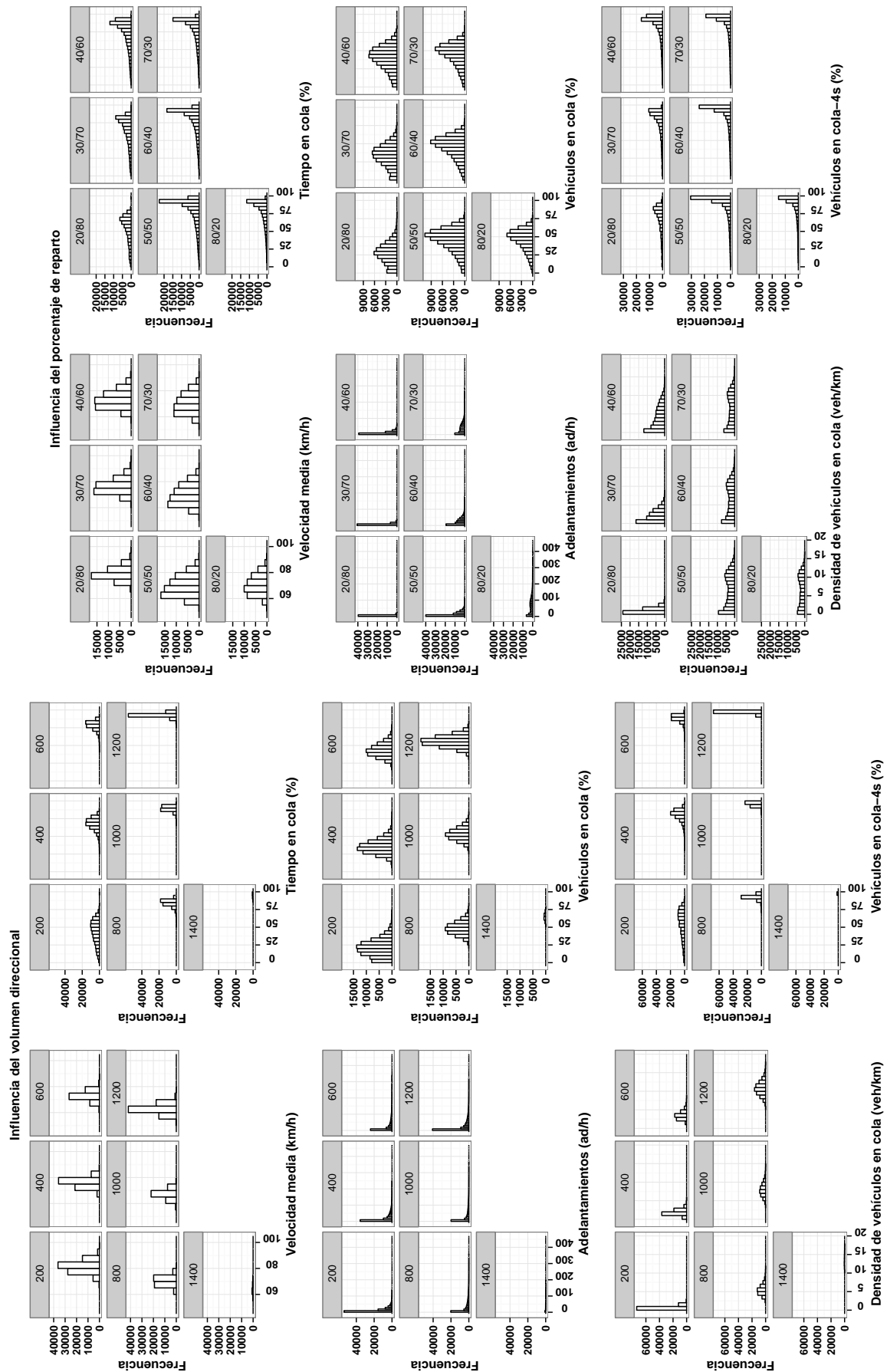


Figura D.2: Histograma de las medidas de desempeño

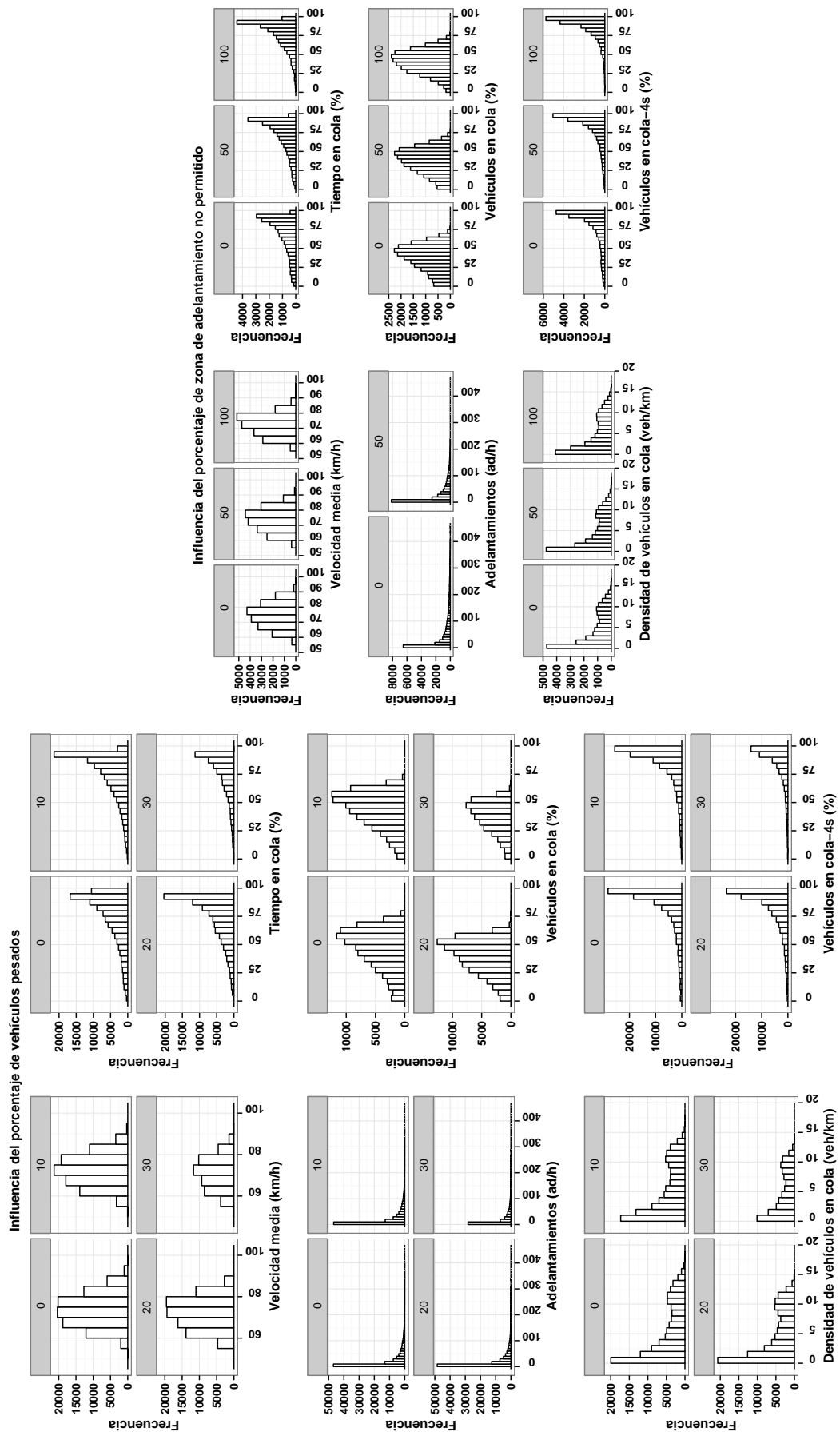


Figura D.3: Histograma de las medidas de desempeño

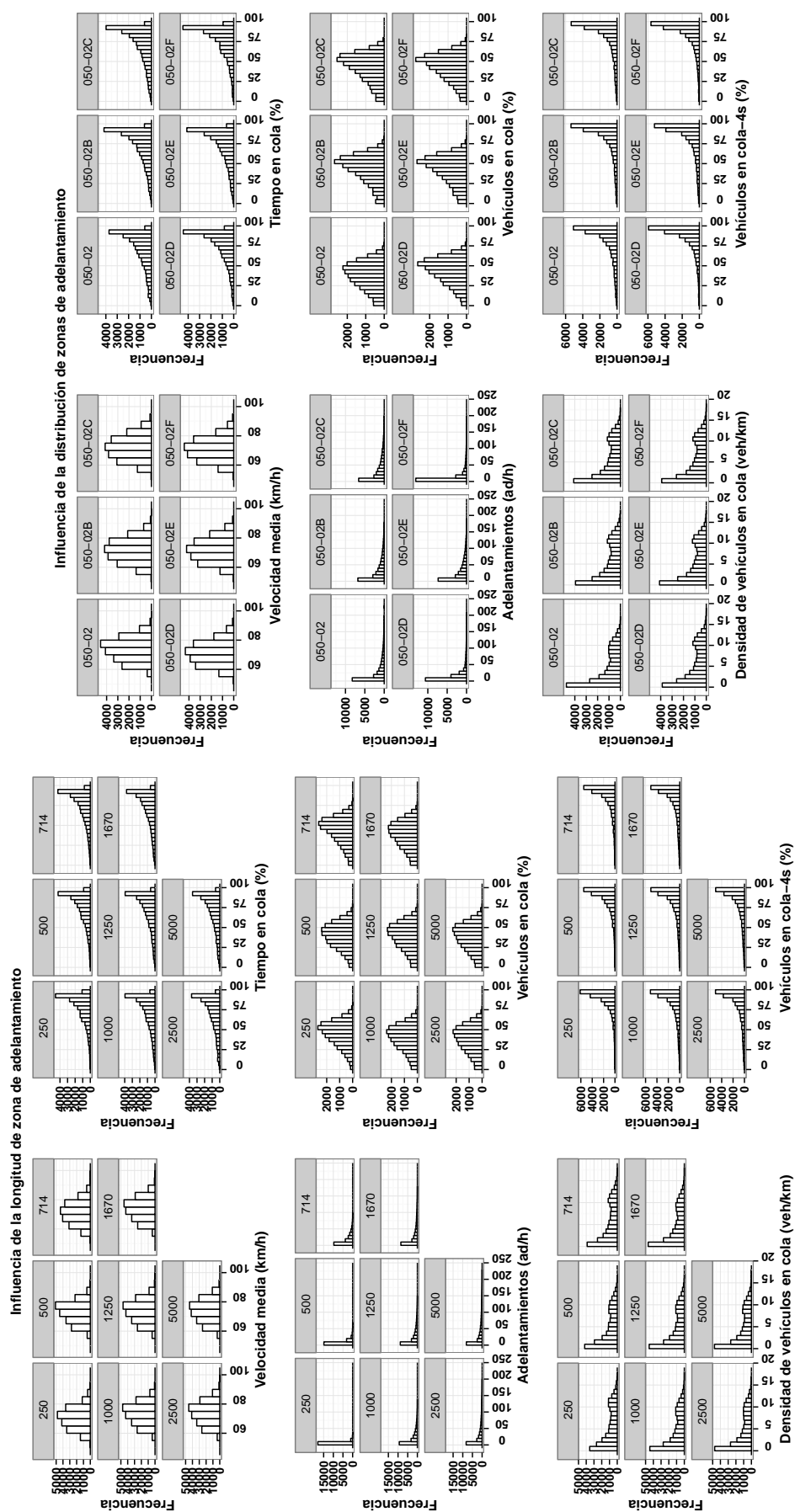


Figura D.4: Histograma de las medidas de desempeño



## D.2 Modelos previos configuraciones individuales

### D.2.1 Velocidad media

AIC	$\Delta$ AIC	Estadísticos				P-value						Beta						
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
90283	0	88.6	0.94	3	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.776	-0.368	-0.071	0.029	0.000	-0.002
90307	24	88.6	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.778	-0.368	-0.047		-0.002	-0.778
90351	68	88.6	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.803	-0.368	-0.099	0.023	0.000	
90366	83	88.6	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.803	-0.369	-0.078		-0.803	
90377	94	88.6	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.733	-0.325	-0.071	0.050		-0.733
90403	120	88.6	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.735	-0.325	-0.047			-0.325
90448	165	88.5	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.760	-0.325	-0.100	0.024		
90464	181	88.5	0.94	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.760	-0.326	-0.078			
90635	352	88.4	0.94	5	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.484	-0.217	-0.054	0.032	-0.009	-0.005
90652	369	88.4	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.804	-0.370		0.000	-0.804	
90652	369	88.4	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.804	-0.370		0.000	-0.804	-0.370
90664	381	88.4	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.486	-0.217	-0.028		-0.003	-22.919
90752	469	88.3	0.94	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.760	-0.326		-0.023		
90752	469	88.3	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.760	-0.326		-0.023		-2.209
90795	512	88.3	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.515	-0.211	-0.097	0.023	-0.010	
90809	526	88.3	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.516	-0.212	-0.077		-24.297	
91078	795	88.1	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.517	-0.213		0.000	-24.364	
91078	795	88.1	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.517	-0.213		0.000	-24.364	-10.035
91357	1074	88.0	0.94	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.804	-0.370			-0.369	
91357	1074	88.0	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.804	-0.370			-0.369	0.000
91452	1169	87.9	0.94	3	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.760	-0.326				-0.325
91452	1169	87.9	0.94	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.760	-0.326				-0.325
91747	1464	87.7	0.94	5	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.517	-0.213			-10.001	
91747	1464	87.7	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.517	-0.213			-10.001	-0.009
91908	1625	87.6	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.686	-0.324	-0.036	0.032		-32.353
91954	1651	87.6	0.94	5	4	0	0	0	0.04	0.00	0	0	-0.689	-0.324	-0.010			-15.233
92183	1900	87.4	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.741	-0.322	-0.094	0.019		
92191	1908	87.4	0.94	5	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.741	-0.323	-0.077			
92321	2038	87.3	0.94	4	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.632	-0.225	-0.050	0.056	0.000	-0.003
92355	2072	87.3	0.95	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.634	-0.225	-0.021		-0.003	-29.886
92426	2143	87.3	0.95	5	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.741	-0.323		-1.047		
92426	2143	87.3	0.95	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.741	-0.323		-1.047		-2.184
92520	2237	87.2	0.95	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.673	-0.218	-0.100	0.025	0.000	
92535	2252	87.2	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.673	-0.218	-0.077		-51.716	
92750	2467	87.0	0.95	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.703	-0.308	-0.040	0.036		-33.131
92782	2499	87.0	0.95	4	4	0	0	0	0.02	0.00	0	0	-0.705	-0.308	-0.011			-0.308
92790	2507	87.0	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.674	-0.220		0.000	-51.758	
92790	2507	87.0	0.95	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.674	-0.220		0.000	-51.758	-0.220
93011	2728	86.9	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.757	-0.306	-0.098	0.023		
93023	2740	86.9	0.95	4	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.757	-0.307	-0.077			
93053	2770	86.8	0.95	5	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.741	-0.323				-15.180
93053	2770	86.8	0.95	5	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.741	-0.323				-15.180
93264	2981	86.7	0.95	4	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.757	-0.307		-1.071		
93264	2981	86.7	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.757	-0.307		-1.071		-2.172
93399	3116	86.6	0.95	4	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.674	-0.219			-0.219	
93399	3116	86.6	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.674	-0.219			-0.219	0.000
93858	3575	86.3	0.95	4	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.757	-0.307				
93858	3575	86.3	0.95	4	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.757	-0.307				-0.306
101330	11047	79.7	0.89	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.859		0.045	0.000		-2.672
101330	11047	79.7	0.89	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.859		0.045	0.000	-0.859	-2.672
101359	11076	79.6	0.89	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.862		0.000			-0.002
101359	11076	79.6	0.89	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.862		0.000		-1.498	-0.002
101378	11095	79.6	0.89	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.888		0.036	-0.027		
101378	11095	79.6	0.89	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.888		0.036	-0.027	-3.743	
101398	11115	79.6	0.89	3	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.889		-0.026			
101398	11115	79.6	0.89	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.889		-0.026			-0.889
101589	11306	79.4	0.89	3	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.889		-0.064			
101589	11306	79.4	0.89	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.889		-0.064			-0.889
101589	11306	79.4	0.89	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.889		-0.064			-2.146
101589	11306	79.4	0.89	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.889		-0.064			-2.146
101668	11385	79.3	0.89	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.841		0.044	0.000		-2.006
101668	11385	79.3	0.89	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.841		0.044	0.000	-39.658	-2.006
101668	11385	79.3	0.89	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.841		0.044	0.000		-2.006
101668	11385	79.3	0.89	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.841		0.044	0.000	-39.658	-2.006
101699	11416	79.2	0.89	4	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.845		0.000			-0.003
101699	11416	79.2	0.89	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.845		0.000			-0.003
101699	11416	79.2	0.89	5	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.845		0.000			-0.003
101699	11416	79.2	0.89	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.845		0.000			-0.003
101781	11498	79.2	0.89	4	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.886		0.033	-1.253		
101781	11498	79.2	0.89	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.886		0.033	-1.253	-3.615	
101781	11498	79.2	0.89	5	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.886		0.033	-1.253		
101781	11498	79.2	0.89	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.886		0.033	-1.253	-3.615	
101798	11515	79.1	0.89	4	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.886		-1.242			
101798	11515	79.1	0.89	4	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.886		-1.242			-41.763
101798	11515	79.1	0.89	5	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.886		-1.242			
101798	11515	79.1	0.89	5	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.886		-1.242			-41.763
101965	11682	79.0	0.89	3	1	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.889					
101965	11682	79.0	0.89	3	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.889					-0.889
101965	11682	79.0	0.89	3	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.889					-0.889
101965	11682	79.0	0.89	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.889					-0.889
101973	11690	78.9	0.89	4	2	0	0	0	0.00	0.00								

Capítulo D. Análisis estadístico microsimulación

Estadísticos		P-value											Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
89203	0	88.8	0.94	3	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.888	-0.294	-0.056	0.023	0.000	-0.001
89218	15	88.7	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.890	-0.294	-0.037		-0.001	-0.890
89226	23	88.7	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.903	-0.294	-0.072	0.020	0.000	
89236	33	88.7	0.94	3	4	0	0	0	0.00		0		-0.904	-0.295	-0.054		-0.904	
89585	182	88.6	0.94	3	4	0	0	0		0.00	0		-0.904	-0.295		0.000	-0.904	
89585	182	88.6	0.94	3	5	0	0	0		0.00	0		-0.904	-0.295		0.000	-0.904	-0.295
89491	288	88.6	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0.00		0	-0.814	-0.221	-0.056	0.025		-0.814
89507	304	88.6	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.816	-0.221	-0.036			-0.221
89516	315	88.6	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.830	-0.221	-0.074	0.021		
89527	324	88.6	0.94	3	3	0	0	0	0.00				-0.830	-0.221	-0.055			
89678	475	88.5	0.94	3	3	0	0	0		0.00			-0.831	-0.221		-0.025		
89678	475	88.5	0.94	3	4	0	0	0		0.00			-0.831	-0.221		-0.025		-1.524
89729	526	88.4	0.94	3	3	0	0	0			0		-0.905	-0.295			-0.295	
89729	526	88.4	0.94	3	4	0	0	0			0		-0.905	-0.295			-0.295	0.000
90019	816	88.3	0.94	3	2	0	0	0					-0.831	-0.221				
90019	816	88.3	0.94	3	3	0	0	0					-0.831	-0.221				-0.221
90019	816	88.3	0.94	5	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.637	-0.131	-0.044	0.030	-0.007	-0.002
90043	840	88.2	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.639	-0.131	-0.020		-0.002	-30.052
90094	891	88.2	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0		-0.658	-0.126	-0.074	0.024	-0.007	
90109	906	88.2	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0		-0.658	-0.127	-0.053		-30.971	
90256	1053	88.1	0.94	5	4	0	0	0		0.00	0		-0.659	-0.128		0.000	-31.005	
90256	1053	88.1	0.94	5	5	0	0	0		0.00	0		-0.659	-0.128		0.000	-31.005	-5.995
90558	1355	87.9	0.94	5	3	0	0	0			0		-0.660	-0.128			-6.002	
90558	1355	87.9	0.94	5	4	0	0	0			0		-0.660	-0.128			-6.002	-0.007
90726	1523	87.8	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0.00		0	-0.785	-0.210	-0.031	0.051		-36.943
90751	1548	87.8	0.94	5	4	0	0	0	0.26				-0.787	-0.210	-0.005			-9.863
90808	1605	87.8	0.94	4	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.745	-0.139	-0.042	0.033	0.000	-0.002
90837	1634	87.8	0.94	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.745	-0.139	-0.015		-0.002	-35.083
90869	1666	87.7	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.823	-0.209	-0.073	0.022		
90881	1678	87.7	0.94	5	3	0	0	0	0.00				-0.823	-0.209	-0.052			
90905	1702	87.7	0.94	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0		-0.771	-0.134	-0.077	0.026	0.000	
90923	1720	87.7	0.94	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0		-0.771	-0.135	-0.053		-36.308	
91016	1813	87.6	0.94	5	3	0	0	0		0.00			-0.823	-0.209		-1.161		
91016	1813	87.6	0.94	5	4	0	0	0		0.00			-0.823	-0.209		-1.161		-1.440
91052	1849	87.6	0.94	4	5	0	0	0	0.00	0.00		0	-0.796	-0.200	-0.056	0.034		-37.442
91072	1869	87.6	0.94	4	4	0	0	0		0.00	0		-0.772	-0.135		0.000	-36.330	
91072	1869	87.6	0.94	4	5	0	0	0		0.00	0		-0.772	-0.135		0.000	-36.330	-0.135
91082	1879	87.6	0.94	4	4	0	0	0	0.12		0		-0.798	-0.200	-0.007		-0.200	
91186	1983	87.5	0.94	4	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.833	-0.199	-0.076	0.026		
91202	1999	87.5	0.94	4	3	0	0	0	0.00				-0.833	-0.200	-0.053			
91300	2097	87.5	0.94	5	2	0	0	0					-0.823	-0.209				-9.823
91300	2097	87.5	0.94	5	3	0	0	0					-0.823	-0.209				
91346	2143	87.4	0.94	4	3	0	0	0		0.00			-0.833	-0.200		-1.175		
91346	2143	87.4	0.94	4	4	0	0	0		0.00			-0.833	-0.200		-1.175		-1.439
91359	2156	87.4	0.94	4	3	0	0	0			0		-0.773	-0.136			-0.136	
91359	2156	87.4	0.94	4	4	0	0	0			0		-0.773	-0.136			-0.136	0.000
91624	2421	87.2	0.95	4	2	0	0	0					-0.833	-0.200				
91624	2421	87.2	0.95	4	3	0	0	0					-0.833	-0.200				-0.199
95409	6206	84.4	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00		0	-0.900		0.029	0.000		-2.023
95409	6206	84.4	0.92	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.900		0.029	0.000	-0.900	-2.023
95426	6223	84.4	0.92	3	3	0	0	0	0.00			0	-0.903		0.000			-0.001
95426	6223	84.4	0.92	3	4	0	0	0	0.00		0		-0.903		0.000		-1.221	-0.001
95427	6224	84.4	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00			-0.917		0.025	-0.027		
95427	6224	84.4	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.917		0.025	-0.027	-2.622	
95440	6237	84.4	0.92	3	2	0	0	0	0.00				-0.917		-0.027			
95440	6237	84.4	0.92	3	3	0	0	0	0.00				-0.917		-0.027		-0.917	
95562	6359	84.3	0.92	3	2	0	0	0		0.00			-0.917			-0.045		
95562	6359	84.3	0.92	3	3	0	0	0		0.00			-0.917			-0.045	-0.917	
95562	6359	84.3	0.92	3	3	0	0	0		0.00			-0.917			-0.045	-0.917	-1.505
95562	6359	84.3	0.92	3	4	0	0	0		0.00			-0.917			-0.045	-0.917	-1.505
95584	6381	84.3	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0.00		0	-0.885		0.037	0.000		-1.571
95584	6381	84.3	0.92	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.885		0.037	0.000	-41.665	-1.571
95584	6381	84.3	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0.00		0	-0.885		0.037	0.000		-1.571
95584	6381	84.3	0.92	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.885		0.037	0.000	-41.665	-1.571
95613	6410	84.3	0.92	4	3	0	0	0	0.00			0	-0.888		0.000			-0.002
95613	6410	84.3	0.92	4	4	0	0	0	0.00		0		-0.888		0.000		-0.545	-0.002
95613	6410	84.3	0.92	5	3	0	0	0	0.00			0	-0.888		0.000			-0.002
95613	6410	84.3	0.92	5	4	0	0	0	0.00		0		-0.888		0.000		-0.545	-0.002
95656	6453	84.2	0.92	4	3	0	0	0	0.00	0.00			-0.916		0.030	-1.292		
95656	6453	84.2	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.916		0.030	-1.292	-2.700	
95656	6453	84.2	0.92	5	3	0	0	0	0.00	0.00			-0.916		0.030	-1.292		
95656	6453	84.2	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.916		0.030	-1.292	-2.700	
95674	6471	84.2	0.92	4	2	0	0	0	0.00				-0.916		-1.284			
95674	6471	84.2	0.92	4	3	0	0	0	0.00				-0.916		-1.284		-43.109	
95674	6471	84.2	0.92	5	2	0	0	0	0.00				-0.916		-1.284			
95674	6471	84.2	0.92	5	3	0	0	0	0.00				-0.916		-1.284		-43.109	
95797	6594	84.1	0.92	4	2	0	0	0		0.00			-0.916			-0.042		
95797	6594	84.1	0.92	4	3	0	0	0		0.00			-0.916			-0.042	-43.119	
95797	6594	84.1	0.92	4	3	0	0	0		0.00			-0.916			-0.042		-1.414
95797	6594	84.1	0.92	4	4	0	0	0		0.00			-0.916			-0.042	-43.119	-1.414
95797	6594	84.1	0.92	5	2	0	0	0		0.00			-0.916			-0.042		
95797	6594	84.1	0.92	5	3	0	0	0		0.00			-0.916			-0.042	-43.119	
95797	6594	84.1	0.92	5	3	0	0	0		0.00			-0.916			-0.042		-1.414
95797	6594	84.1	0.92	5	4	0	0	0		0.00			-0.916			-0.042	-43.119	-1.414
95806	6603	84.1	0.92	3	1	0	0	0					-0.917					
95806	6603	84.1	0.92	3	2	0	0	0					-					

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

		Estadísticos				P-value							Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
88702	58	89.2	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.874	-0.266	-0.063	0.018	-0.874	-0.810
88757	95	89.2	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.810	-0.224	-0.050	0.012	-0.810	-0.224
88745	101	89.2	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.811	-0.224	-0.035	0.012	-0.811	-0.224
88795	151	89.2	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.02	0	0	-0.833	-0.224	-0.075	0.012	-0.833	-0.224
88798	154	89.2	0.94	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.833	-0.224	-0.063	0.012	-0.833	-0.224
88874	230	89.1	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.875	-0.266	-0.063	0.000	-0.875	-0.266
88874	230	89.1	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.875	-0.266	-0.063	0.000	-0.875	-0.266
88972	328	89.1	0.94	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.833	-0.224	-0.025	-0.025	-0.833	-0.224
88972	328	89.1	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.833	-0.224	-0.025	-0.025	-0.833	-0.224
89394	750	88.8	0.94	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.875	-0.267	-0.063	0.000	-0.875	-0.267
89394	750	88.8	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.875	-0.267	-0.063	0.000	-0.875	-0.267
89491	847	88.8	0.94	3	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.833	-0.224	-0.025	-0.025	-0.833	-0.224
89491	847	88.8	0.94	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.833	-0.224	-0.025	-0.025	-0.833	-0.224
90053	1409	88.5	0.94	5	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.567	-0.099	-0.056	0.023	-0.567	-0.099
90067	1423	88.4	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.569	-0.099	-0.016	0.000	-0.569	-0.099
90190	1546	88.4	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0.01	0	0	-0.595	-0.094	-0.075	0.015	-0.595	-0.094
90195	1551	88.4	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.596	-0.094	-0.062	0.000	-0.596	-0.094
90356	1712	88.3	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.596	-0.095	-0.016	0.000	-0.596	-0.095
90356	1712	88.3	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.596	-0.095	-0.016	0.000	-0.596	-0.095
90806	2162	88.0	0.94	5	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.598	-0.095	-0.016	0.000	-0.598	-0.095
90806	2162	88.0	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.598	-0.095	-0.016	0.000	-0.598	-0.095
90871	2227	87.9	0.94	4	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.701	-0.111	-0.031	0.027	-0.701	-0.111
90889	2245	87.9	0.94	4	5	0	0	0	0.05	0.00	0	0	-0.702	-0.111	-0.009	0.000	-0.702	-0.111
91048	2404	87.8	0.94	4	5	0	0	0	0.00	0.01	0	0	-0.738	-0.105	-0.076	0.016	-0.738	-0.105
91054	2410	87.8	0.94	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.738	-0.105	-0.062	0.000	-0.738	-0.105
91213	2569	87.7	0.94	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.739	-0.105	-0.062	0.000	-0.739	-0.105
91213	2569	87.7	0.94	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.739	-0.105	-0.062	0.000	-0.739	-0.105
91395	2751	87.6	0.94	5	5	0	0	0	0.01	0.00	0	0	-0.773	-0.208	-0.019	0.026	-0.773	-0.208
91411	2767	87.6	0.94	5	4	0	0	0	0.60	0.00	0	0	-0.775	-0.208	0.002	0.000	-0.775	-0.208
91442	2798	87.6	0.94	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.781	-0.204	-0.022	0.028	-0.781	-0.204
91462	2818	87.6	0.94	4	4	0	0	0	0.79	0.00	0	0	-0.783	-0.204	0.001	0.000	-0.783	-0.204
91640	2996	87.4	0.94	4	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.739	-0.106	-0.062	0.000	-0.739	-0.106
91640	2996	87.4	0.94	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.739	-0.106	-0.062	0.000	-0.739	-0.106
91642	2998	87.4	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0.02	0	0	-0.824	-0.207	-0.073	0.014	-0.824	-0.207
91646	3002	87.4	0.94	5	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.824	-0.207	-0.060	0.000	-0.824	-0.207
91686	3042	87.4	0.94	4	4	0	0	0	0.00	0.01	0	0	-0.831	-0.203	-0.075	0.016	-0.831	-0.203
91691	3047	87.4	0.94	4	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.831	-0.203	-0.061	0.000	-0.831	-0.203
91787	3143	87.3	0.94	5	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.824	-0.207	-0.061	-1.166	-0.824	-0.207
91787	3143	87.3	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.824	-0.207	-0.061	-1.166	-0.824	-0.207
91841	3197	87.3	0.95	4	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.831	-0.203	-0.061	-1.176	-0.831	-0.203
91841	3197	87.3	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.831	-0.203	-0.061	-1.176	-0.831	-0.203
92188	3544	87.1	0.95	5	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.824	-0.207	-0.061	-1.176	-0.824	-0.207
92188	3544	87.1	0.95	5	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.824	-0.207	-0.061	-1.176	-0.824	-0.207
92243	3599	87.0	0.95	4	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.831	-0.203	-0.061	-1.176	-0.831	-0.203
92243	3599	87.0	0.95	4	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.831	-0.203	-0.061	-1.176	-0.831	-0.203
95125	6481	84.9	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.896	-0.207	0.021	0.000	-0.896	-0.207
95125	6481	84.9	0.92	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.896	-0.207	0.021	0.000	-0.896	-0.207
95133	6489	84.9	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.897	-0.207	0.000	0.000	-0.897	-0.207
95133	6489	84.9	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.897	-0.207	0.000	0.000	-0.897	-0.207
95167	6523	84.9	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.02	0	0	-0.919	-0.207	0.015	-0.028	-0.919	-0.207
95167	6523	84.9	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.02	0	0	-0.919	-0.207	0.015	-0.028	-0.919	-0.207
95171	6527	84.9	0.92	3	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.919	-0.207	-0.027	-0.028	-0.919	-0.207
95171	6527	84.9	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.919	-0.207	-0.027	-0.028	-0.919	-0.207
95302	6658	84.8	0.92	3	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.920	-0.207	-0.054	-0.054	-0.920	-0.207
95302	6658	84.8	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.920	-0.207	-0.054	-0.054	-0.920	-0.207
95302	6658	84.8	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.920	-0.207	-0.054	-0.054	-0.920	-0.207
95302	6658	84.8	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.920	-0.207	-0.054	-0.054	-0.920	-0.207
95664	7020	84.5	0.92	3	1	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.919	-0.207	-0.054	-0.054	-0.919	-0.207
95664	7020	84.5	0.92	3	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.919	-0.207	-0.054	-0.054	-0.919	-0.207
95664	7020	84.5	0.92	3	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.919	-0.207	-0.054	-0.054	-0.919	-0.207
95664	7020	84.5	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.919	-0.207	-0.054	-0.054	-0.919	-0.207
96137	7495	84.1	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.872	-0.207	0.029	0.000	-0.872	-0.207
96137	7495	84.1	0.92	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.872	-0.207	0.029	0.000	-0.872	-0.207
96137	7495	84.1	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.872	-0.207	0.029	0.000	-0.872	-0.207
96154	7510	84.1	0.92	4	3	0	0	0	0.18	0.00	0	0	-0.874	-0.207	0.000	0.000	-0.874	-0.207
96154	7510	84.1	0.92	4	4	0	0	0	0.18	0.00	0	0	-0.874	-0.207	0.000	0.000	-0.874	-0.207
96154	7510	84.1	0.92	5	3	0	0	0	0.18	0.00	0	0	-0.874	-0.207	0.000	0.000	-0.874	-0.207
96154	7510	84.1	0.92	5	4	0	0	0	0.18	0.00	0	0	-0.874	-0.207	0.000	0.000	-0.874	-0.207
96279	7635	84.0	0.92	4	3	0	0	0	0.00	0.01	0	0	-0.914	-0.207	0.019	-1.294	-0.914	-0.207
96279	7635	84.0	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0.01	0	0	-0.914	-0.207	0.019	-1.294	-0.914	-0.207
96279	7635	84.0	0.92	5	3	0	0	0	0.00	0.01	0	0	-0.914	-0.207	0.019	-1.294	-0.914	-0.207
96279	7635	84.0	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0.01	0	0	-0.914	-0.207	0.019	-1.294	-0.914	-0.207
96284	7640	84.0	0.92	4	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.914	-0.207	-1.283	-1.283	-0.914	-0.207
96284	7640	84.0	0.92	4	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.914	-0.207	-1.283	-1.283	-0.914	-0.207
96284	7640	84.0	0.92	5	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.914	-0.207</				

		Estadísticos					P-value							Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
90542	175	86.9	0.95	3	5	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.823	-0.174	-0.056	0.034		-0.823	
90570	201	86.9	0.95	3	4	0	0	0	0.14	0	0	0	-0.825	-0.174	-0.007			-0.175	
90603	234	86.9	0.95	3	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.850	-0.174	-0.066	0.029			
90624	255	86.9	0.95	3	3	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.850	-0.174	-0.040				
90668	299	86.8	0.95	3	3	0	0	0			0		-0.913	-0.237			-0.237		
90668	299	86.8	0.95	3	4	0	0	0			0		-0.913	-0.237			-0.237	0.000	
90717	348	86.8	0.95	3	3	0	0	0		0			-0.850	-0.175		-0.026			
90717	348	86.8	0.95	3	4	0	0	0		0			-0.850	-0.175		-0.026		-1.008	
90849	480	86.7	0.95	3	2	0	0	0					-0.850	-0.174					
90849	480	86.7	0.95	3	3	0	0	0					-0.850	-0.174				-0.174	
90897	528	86.7	0.95	5	6	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.645	-0.085	-0.021	0.056	-0.007	-0.005	
90930	561	86.7	0.95	5	5	0	0	0	0.06	0	0	0	-0.647	-0.085	0.010		-0.002	-30.481	
91025	656	86.6	0.95	5	5	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.674	-0.079	-0.064	0.029	-0.007		
91046	677	86.6	0.95	5	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.674	-0.080	-0.037		-31.765		
91130	761	86.5	0.95	5	4	0	0	0		0	0	0	-0.676	-0.080		0.000	-31.821		
91130	761	86.5	0.95	5	5	0	0	0		0	0	0	-0.676	-0.080		0.000	-31.821	-3.780	
91241	872	86.4	0.95	5	3	0	0	0			0		-0.676	-0.080			-3.779		
91241	872	86.4	0.95	5	4	0	0	0			0		-0.676	-0.080			-3.779	-0.007	
91525	1156	86.2	0.95	5	5	0	0	0	0.55	0	0	0	-0.795	-0.164	-0.004	0.035		-37.420	
91554	1185	86.2	0.95	5	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.797	-0.165	0.025			-7.735	
91576	1207	86.2	0.95	4	6	0	0	0	0.02	0	0	0	-0.745	-0.083	-0.018	0.039	0.000	-0.003	
91612	1243	86.2	0.95	4	5	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.747	-0.083	0.015		-0.003	-35.184	
91728	1359	86.1	0.95	4	5	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.781	-0.076	-0.065	0.051	0.000		
91733	1364	86.1	0.95	5	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.845	-0.163	-0.060	0.026			
91748	1379	86.1	0.95	5	3	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.844	-0.163	-0.056				
91750	1381	86.1	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.782	-0.077	-0.037		-36.826		
91821	1452	86.0	0.95	5	3	0	0	0		0			-0.844	-0.163		-1.197			
91821	1452	86.0	0.95	5	4	0	0	0					-0.844	-0.163		-1.197		-0.919	
91834	1465	86.0	0.95	4	4	0	0	0			0	0	-0.783	-0.078		0.000	-36.864		
91834	1465	86.0	0.95	4	5	0	0	0			0	0	-0.783	-0.078		0.000	-36.864	-0.078	
91857	1488	86.0	0.95	4	5	0	0	0	0.26	0	0	0	-0.805	-0.153	-0.008	0.058		-37.897	
91892	1523	86.0	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.807	-0.153	0.023			-0.153	
91924	1555	86.0	0.95	5	2	0	0	0					-0.844	-0.163					
91924	1555	86.0	0.95	5	3	0	0	0					-0.844	-0.163				-7.670	
91939	1570	85.9	0.95	4	3	0	0	0			0		-0.783	-0.078			-0.078		
91939	1570	85.9	0.95	4	4	0	0	0			0		-0.783	-0.078			-0.078	0.000	
92057	1688	85.8	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.853	-0.151	-0.063	0.029			
92077	1708	85.8	0.95	4	3	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.853	-0.151	-0.037				
92154	1785	85.8	0.95	4	3	0	0	0		0			-0.853	-0.152		-1.211			
92154	1785	85.8	0.95	4	4	0	0	0		0			-0.853	-0.152		-1.211		-0.916	
92254	1885	85.7	0.95	4	2	0	0	0					-0.853	-0.151					
92254	1885	85.7	0.95	4	3	0	0	0					-0.853	-0.151				-0.151	
93994	3625	84.3	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.891		0.038	0.000		-1.347	
93994	3625	84.3	0.92	3	5	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.891		0.038	0.000	-0.891	-1.347	
94026	3657	84.3	0.92	3	3	0	0	0	0.15	0	0	0	-0.893		0.000			-0.002	
94026	3657	84.3	0.92	3	4	0	0	0	0.15	0	0	0	-0.893		0.000		-0.264	-0.002	
94044	3675	84.3	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.917		0.034	-0.028			
94044	3675	84.3	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.917		0.034	-0.028	-2.350		
94068	3699	84.3	0.92	3	2	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.917		-0.027				
94068	3699	84.3	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.917		-0.027		-0.917		
94152	3783	84.2	0.92	3	2	0	0	0		0			-0.917			-0.029			
94152	3783	84.2	0.92	3	3	0	0	0		0			-0.917			-0.029	-0.917		
94152	3783	84.2	0.92	3	5	0	0	0		0			-0.917			-0.029		-0.971	
94152	3783	84.2	0.92	3	4	0	0	0		0			-0.917			-0.029	-0.917	-0.971	
94254	3885	84.1	0.92	3	1	0	0	0					-0.917						
94254	3885	84.1	0.92	3	2	0	0	0					-0.917				-0.917		
94254	3885	84.1	0.92	3	2	0	0	0					-0.917					-0.917	
94254	3885	84.1	0.92	3	3	0	0	0					-0.917				-0.917	-0.917	
94330	3961	84.1	0.92	4	4	0	0	0	0.02	0	0	0	-0.872		0.041	0.000		-0.590	
94330	3961	84.1	0.92	4	5	0	0	0	0.02	0	0	0	-0.872		0.041	0.000	-41.088	-0.590	
94330	3961	84.1	0.92	5	4	0	0	0	0.02	0	0	0	-0.872		0.041	0.000		-0.590	
94330	3961	84.1	0.92	5	5	0	0	0	0.02	0	0	0	-0.872		0.041	0.000	-41.088	-0.590	
94365	3996	84.0	0.92	4	3	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.875		0.000			-0.003	
94365	3996	84.0	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.875		0.000		0.564	-0.003	
94365	3996	84.0	0.92	5	3	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.875		0.000			-0.003	
94365	3996	84.0	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.875		0.000		0.564	-0.003	
94469	4100	84.0	0.92	4	3	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.915		0.033	-1.298			
94469	4100	84.0	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.915		0.033	-1.298	-2.220		
94469	4100	84.0	0.92	5	3	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.915		0.033	-1.298			
94469	4100	84.0	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.915		0.033	-1.298	-2.220		
94491	4122	83.9	0.92	4	2	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.915		-1.284				
94491	4122	83.9	0.92	4	3	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.915		-1.284		-43.101		
94491	4122	83.9	0.92	5	2	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.915		-1.284				
94491	4122	83.9	0.92	5	3	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.915		-1.284		-43.101		
94563	4194	83.9	0.92	4	2	0	0	0		0			-0.916			-0.026			
94563	4194	83.9	0.92	4	3	0	0	0		0			-0.916			-0.026	-43.115		
94563	4194	83.9	0.92	4	3	0	0	0		0			-0.916			-0.026		-0.879	
94563	4194	83.9	0.92	4	4	0	0	0		0			-0.916			-0.026	-43.115	-0.879	
94563	4194	83.9	0.92	5	2	0	0	0		0			-0.916			-0.026			
94563	4194	83.9	0.92	5	3	0	0	0		0			-0.916			-0.026	-43.115		
94563	4194	83.9	0.92	5	3	0	0	0		0			-0.916			-0.026		-0.879	
94563	4194	83.9	0.92	5	4	0	0	0		0			-0.916			-0.026	-43.115	-0.879	
94644	4275	83.8	0.92	4	1	0	0	0					-0.915						
94644	4275	83.8	0.92	4	2	0	0	0					-0.915				-43.110		
94644	4275	83.8	0.92	4	2	0	0	0					-0.915					-43.110	
94644	4275	83.8	0.92	4	3	0	0	0					-0.915				-43.110	-43.110	
94644	4275	83.8	0.92	5	1	0	0	0					-0.915						

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

AIC	Δ AIC	Estadísticos				P-value						Beta						
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
89719	316	88.4	0.94	3	3	0	0	0	0.00									
89847	444	88.4	0.94	3	3	0	0	0				-0.838	-0.207	-0.051				
89847	444	88.4	0.94	3	4	0	0	0				-0.914	-0.282				-0.282	0.000
89862	459	88.5	0.94	3	3	0	0	0		0		-0.838	-0.207		-0.025			
89862	459	88.5	0.94	3	4	0	0	0		0		-0.838	-0.207		-0.025			-1.390
90144	741	88.2	0.94	3	2	0	0	0				-0.838	-0.207					
90144	741	88.2	0.94	3	3	0	0	0				-0.838	-0.207					-0.207
90244	841	88.1	0.94	5	6	0	0	0	0.00	0	0.00	-0.654	-0.116	-0.047	0.050	-0.007	-0.001	
90268	865	88.1	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0.00	-0.655	-0.116	-0.022		-0.001	-30.829	
90290	887	88.1	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0	0.00	-0.670	-0.113	-0.071	0.025	-0.007		
90306	903	88.1	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0.00		-0.670	-0.113	-0.048		-31.533		
90450	1027	88.0	0.94	5	4	0	0	0		0	0.00	-0.672	-0.114		0.000	-31.585		
90450	1027	88.0	0.94	5	5	0	0	0		0	0.00	-0.672	-0.114		0.000	-31.585	-5.557	
90670	1267	87.8	0.94	5	3	0	0	0		0	0.00	-0.673	-0.114			-5.368		
90670	1267	87.8	0.94	5	4	0	0	0		0	0.00	-0.673	-0.114			-5.368	-0.007	
90926	1523	87.7	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0	0.00	-0.800	-0.194	-0.032	0.031	-37.628		
90949	1546	87.7	0.94	5	4	0	0	0	0.14		0.00	-0.802	-0.194	-0.007		-9.104		
90981	1578	87.7	0.94	4	6	0	0	0	0.00	0	0.00	-0.757	-0.122	-0.043	0.032	0.000	-0.002	
91007	1604	87.6	0.94	4	5	0	0	0	0.00	0	0.00	-0.759	-0.122	-0.017		-0.002	-35.687	
91028	1625	87.6	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0		-0.832	-0.193	-0.068	0.023			
91040	1637	87.6	0.94	5	3	0	0	0	0.00			-0.832	-0.193	-0.047				
91045	1642	87.6	0.94	4	5	0	0	0	0.00	0	0.00	-0.780	-0.118	-0.072	0.027	0.000		
91062	1659	87.6	0.94	4	4	0	0	0	0.00	0.00		-0.780	-0.118	-0.048		-36.673		
91150	1747	87.5	0.94	5	3	0	0	0		0		-0.832	-0.193		-1.177			
91150	1747	87.5	0.94	5	4	0	0	0		0		-0.832	-0.193		-1.177			-1.268
91184	1781	87.5	0.94	4	4	0	0	0		0	0.00	-0.780	-0.119		0.000	-36.704		
91184	1781	87.5	0.94	4	5	0	0	0		0	0.00	-0.780	-0.119		0.000	-36.704	-0.119	
91235	1832	87.5	0.94	4	5	0	0	0	0.00	0	0.00	-0.810	-0.184	-0.036	0.032	-38.114		
91260	1857	87.5	0.94	4	4	0	0	0	0.07		0.00	-0.812	-0.184	-0.009		-0.184		
91330	1927	87.4	0.94	4	4	0	0	0	0.00	0		-0.842	-0.183	-0.070	0.025			
91345	1942	87.4	0.94	4	3	0	0	0	0.00			-0.842	-0.184	-0.047				
91369	1966	87.4	0.94	5	2	0	0	0		0		-0.852	-0.193					
91369	1966	87.4	0.94	5	3	0	0	0		0		-0.852	-0.193					-9.062
91412	2009	87.4	0.94	4	3	0	0	0		0.00		-0.781	-0.119			-0.119		
91412	2009	87.4	0.94	4	4	0	0	0		0.00		-0.781	-0.119			-0.119	0.000	
91459	2056	87.3	0.94	4	3	0	0	0		0		-0.842	-0.184		-1.191			
91459	2056	87.3	0.94	4	4	0	0	0		0		-0.842	-0.184		-1.191			-1.276
91678	2275	87.2	0.95	4	2	0	0	0		0		-0.842	-0.183					
91678	2275	87.2	0.95	4	3	0	0	0		0		-0.842	-0.183					-0.183
94896	5493	84.8	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0	0.00	-0.909	-0.194	0.037	0.000	-2.418		
94896	5493	84.8	0.92	3	5	0	0	0	0.00	0	0.00	-0.909	-0.194	0.037	0.000	-0.909	-2.418	
94902	5499	84.8	0.92	3	3	0	0	0		0		-0.920	0.035	-0.028				
94902	5499	84.8	0.92	3	4	0	0	0		0		-0.920	0.035	-0.028		-2.794		
94925	5522	84.8	0.92	3	3	0	0	0		0	0.03	-0.912	0.000			-0.001		
94925	5522	84.8	0.92	3	4	0	0	0		0.03		-0.912	0.000			-1.365	-0.001	
94928	5525	84.8	0.92	3	2	0	0	0		0		-0.920	-0.027					
94928	5525	84.8	0.92	3	3	0	0	0		0		-0.920	-0.027			-0.920		
95052	5649	84.7	0.92	3	2	0	0	0		0		-0.920		-0.040				
95052	5649	84.7	0.92	3	3	0	0	0		0		-0.920		-0.040		-0.920		
95052	5649	84.7	0.92	3	3	0	0	0		0		-0.920		-0.040				-1.326
95052	5649	84.7	0.92	3	4	0	0	0		0		-0.920		-0.040		-0.920		-1.326
95082	5679	84.7	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0	0.00	-0.895	0.039	0.000		-1.639		
95082	5679	84.7	0.92	4	5	0	0	0	0.00	0	0.00	-0.895	0.039	0.000		-42.013	-1.639	
95082	5679	84.7	0.92	5	4	0	0	0		0	0.00	-0.895	0.039	0.000		-1.639		
95082	5679	84.7	0.92	5	5	0	0	0		0	0.00	-0.895	0.039	0.000		-42.013	-1.639	
95113	5710	84.7	0.92	4	3	0	0	0		0	0.00	-0.896	0.000			-0.002		
95113	5710	84.7	0.92	4	4	0	0	0		0	0.00	-0.896	0.000			-0.549	-0.002	
95113	5710	84.7	0.92	5	3	0	0	0		0	0.00	-0.896	0.000			-0.002		
95113	5710	84.7	0.92	5	4	0	0	0		0	0.00	-0.896	0.000			-0.549	-0.002	
95133	5730	84.7	0.92	4	3	0	0	0		0		-0.919	0.035	-1.299				
95133	5730	84.7	0.92	4	4	0	0	0		0		-0.919	0.035	-1.299		-2.583		
95133	5730	84.7	0.92	5	3	0	0	0		0		-0.919	0.035	-1.299				
95133	5730	84.7	0.92	5	4	0	0	0		0		-0.919	0.035	-1.299		-2.583		
95156	5753	84.6	0.92	4	2	0	0	0		0		-0.919	-1.286					
95156	5753	84.6	0.92	4	3	0	0	0		0		-0.919	-1.286			-45.211		
95156	5753	84.6	0.92	5	2	0	0	0		0		-0.919	-1.286					
95156	5753	84.6	0.92	5	3	0	0	0		0		-0.919	-1.286			-45.211		
95248	5845	84.6	0.92	3	1	0	0	0		0		-0.920						
95248	5845	84.6	0.92	3	2	0	0	0		0		-0.920				-0.920		
95248	5845	84.6	0.92	3	2	0	0	0		0		-0.920						-0.920
95248	5845	84.6	0.92	3	3	0	0	0		0		-0.920				-0.920		-0.920
95260	5857	84.5	0.92	4	2	0	0	0		0		-0.919		-0.036				
95260	5857	84.5	0.92	4	3	0	0	0		0		-0.919		-0.036		-45.219		
95260	5857	84.5	0.92	4	3	0	0	0		0		-0.919		-0.036				-1.211
95260	5857	84.5	0.92	4	4	0	0	0		0		-0.919		-0.036		-45.219		-1.211
95260	5857	84.5	0.92	5	2	0	0	0		0		-0.919		-0.036				
95260	5857	84.5	0.92	5	3	0	0	0		0		-0.919		-0.036		-45.219		-1.211
95260	5857	84.5	0.92	5	3	0	0	0		0		-0.919		-0.036		-45.219		-1.211
95422	6019	84.4	0.92	4	1	0	0	0		0		-0.919						
95422	6019	84.4	0.92	4	2	0	0	0		0		-0.919				-45.211		
95422	6019	84.4	0.92	4	2	0	0	0		0		-0.919						-45.211
95422	6019	84.4	0.92	4	3	0	0	0		0		-0.919				-45.211		-45.211
95422	6019	84.4	0.92	5	1	0	0	0		0		-0.919						
95422	6019	84.4	0.92	5	2	0	0	0		0		-0.919				-45.211		
95422	6019	84.4	0.92	5	2	0	0	0		0		-0.919						-45.211
95422	6019	84.4	0.92	5	3	0	0	0		0		-0.919				-45.211		-45.211

Tabla D.5: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_02

AIC	Δ AIC	Estadísticos				P-value						Beta					
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd		

AIC	Δ AIC	Estadísticos				P-value							Beta					
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
94674	361	86.5	0.95	3	4	0	0	0	0	0	0	-0.802	-0.185	-0.090	0.005			-0.185
94675	362	86.5	0.95	3	5	0	0	0	0	0.41	0	-0.802	-0.185	-0.095	0.005			-0.802
94715	402	86.5	0.95	4	4	0	0	0	0	0	0	-0.798	-0.160	-0.069			-0.160	
94716	403	86.5	0.95	4	5	0	0	0	0	0.27	0	-0.797	-0.160	-0.075	0.007			-0.160
94758	445	86.5	0.95	3	3	0	0	0	0	0	0	-0.853	-0.185	-0.131				
94760	447	86.5	0.95	3	4	0	0	0	0	0.79	0	-0.853	-0.185	-0.129	-0.002			
94794	481	86.5	0.95	5	3	0	0	0	0	0	0	-0.856	-0.164	-0.127				
94796	483	86.5	0.95	5	4	0	0	0	0	0.48	0	-0.856	-0.164	-0.125	-0.004			
94798	485	86.5	0.95	4	4	0	0	0	0	0	0	-0.804	-0.118	-0.128			-37.845	
94800	487	86.5	0.95	4	5	0	0	0	0	0.70	0	-0.804	-0.118	-0.126	-0.002	0.000		0.000
94818	505	86.5	0.95	3	4	0	0	0	0	0.00	0	-0.924	-0.275		0.000	-0.924		
94818	505	86.5	0.95	3	5	0	0	0	0	0.00	0	-0.924	-0.275		0.000	-0.924		-0.275
94876	563	86.4	0.95	5	4	0	0	0	0	0.00	0	-0.726	-0.110		0.000	-0.726		
94876	563	86.4	0.95	5	5	0	0	0	0	0.00	0	-0.726	-0.110		0.000	-0.726		-5.192
94901	588	86.4	0.95	4	3	0	0	0	0	0	0	-0.845	-0.159	-0.128				
94905	590	86.4	0.95	4	4	0	0	0	0	0.62	0	-0.845	-0.159	-0.125	-0.003			
95178	865	86.2	0.95	5	3	0	0	0	0	0.00	0	-0.857	-0.165		-1.181			
95178	865	86.2	0.95	5	4	0	0	0	0	0.00	0	-0.857	-0.165		-1.181			-3.863
95182	869	86.2	0.95	3	3	0	0	0	0	0.00	0	-0.854	-0.186		-0.025			
95182	869	86.2	0.95	3	4	0	0	0	0	0.00	0	-0.854	-0.186		-0.025			-3.957
95199	886	86.2	0.95	4	4	0	0	0	0	0.00	0	-0.806	-0.120		0.000	-37.933		
95199	886	86.2	0.95	4	5	0	0	0	0	0.00	0	-0.806	-0.120		0.000	-37.933		-0.119
95293	980	86.1	0.95	4	3	0	0	0	0	0.00	0	-0.844	-0.160		-1.191			
95293	980	86.1	0.95	4	4	0	0	0	0	0.00	0	-0.844	-0.160		-1.191			-3.868
96689	2376	85.1	0.92	5	3	0	0	0	0	0	0	-0.728	-0.111			-5.219		
96689	2376	85.1	0.92	5	4	0	0	0	0	0	0	-0.728	-0.111			-5.219		-0.005
96707	2394	85.0	0.92	3	3	0	0	0	0	0	0	-0.924	-0.275			-0.275		
96707	2394	85.0	0.92	3	4	0	0	0	0	0	0	-0.924	-0.275			-0.275		0.000
96953	2640	84.8	0.92	5	2	0	0	0	0	0	0	-0.857	-0.165					
96953	2640	84.8	0.92	5	3	0	0	0	0	0	0	-0.857	-0.165					-7.740
96982	2669	84.8	0.92	4	3	0	0	0	0	0	0	-0.807	-0.120			-0.120		
96982	2669	84.8	0.92	4	4	0	0	0	0	0	0	-0.807	-0.120			-0.120		0.000
97040	2727	84.8	0.92	3	2	0	0	0	0	0	0	-0.854	-0.185					
97040	2727	84.8	0.92	3	3	0	0	0	0	0	0	-0.854	-0.185					-0.185
97063	2750	84.8	0.92	4	2	0	0	0	0	0	0	-0.844	-0.159					
97063	2750	84.8	0.92	4	3	0	0	0	0	0	0	-0.844	-0.159					-0.159
97533	3220	84.4	0.92	4	3	0	0	0	0	0	0	-0.868	0.000		0.000			-0.003
97533	3220	84.4	0.92	4	4	0	0	0	0	0.18	0	-0.868	0.009		0.000			-2.785
97533	3220	84.4	0.92	4	4	0	0	0	0	0	0	-0.868	0.000			-2.534		-0.003
97533	3220	84.4	0.92	4	5	0	0	0	0	0.18	0	-0.868	0.009		0.000	-40.865		-2.785
97533	3220	84.4	0.92	5	3	0	0	0	0	0	0	-0.868	0.000					-0.003
97533	3220	84.4	0.92	5	4	0	0	0	0	0.18	0	-0.868	0.009		0.000			-2.785
97533	3220	84.4	0.92	5	4	0	0	0	0	0	0	-0.868	0.000			-2.534		-0.003
97533	3220	84.4	0.92	5	5	0	0	0	0	0.18	0	-0.868	0.009		0.000	-40.865		-2.785
97660	3347	84.3	0.92	4	2	0	0	0	0	0	0	-0.908	-1.270					
97660	3347	84.3	0.92	4	3	0	0	0	0	0	0	-0.908	-1.270					-42.767
97660	3347	84.3	0.92	5	2	0	0	0	0	0	0	-0.908	-1.270					
97660	3347	84.3	0.92	5	3	0	0	0	0	0	0	-0.908	-1.270					-42.767
97662	3349	84.3	0.92	4	3	0	0	0	0	0.99	0	-0.908	0.000		-1.282			
97662	3349	84.3	0.92	4	4	0	0	0	0	0.99	0	-0.908	0.000		-1.282			-4.292
97662	3349	84.3	0.92	5	3	0	0	0	0	0.99	0	-0.908	0.000		-1.282			
97662	3349	84.3	0.92	5	4	0	0	0	0	0.99	0	-0.908	0.000		-1.282			-4.292
98015	3702	84.0	0.92	4	2	0	0	0	0	0.00	0	-0.909	-0.115					
98015	3702	84.0	0.92	4	3	0	0	0	0	0.00	0	-0.909	-0.115			-42.808		
98015	3702	84.0	0.92	4	4	0	0	0	0	0.00	0	-0.909	-0.115			-42.808		-3.845
98015	3702	84.0	0.92	4	5	0	0	0	0	0.00	0	-0.909	-0.115			-42.808		-3.845
98015	3702	84.0	0.92	5	2	0	0	0	0	0.00	0	-0.909	-0.115					-3.845
98015	3702	84.0	0.92	5	3	0	0	0	0	0.00	0	-0.909	-0.115			-42.808		-3.845
98015	3702	84.0	0.92	5	4	0	0	0	0	0.00	0	-0.909	-0.115			-42.808		-3.845
98015	3702	84.0	0.92	5	5	0	0	0	0	0.00	0	-0.909	-0.115			-42.808		-3.845
98455	4122	83.6	0.92	3	3	0	0	0	0	0	0	-0.875	0.000					-0.002
98455	4122	83.6	0.92	3	4	0	0	0	0	0.18	0	-0.872	0.009		0.000			-3.285
98455	4122	83.6	0.92	3	4	0	0	0	0	0	0	-0.875	0.000			-3.026		-0.002
98455	4122	83.6	0.92	3	5	0	0	0	0	0.18	0	-0.872	0.009		0.000	-0.872		-3.285
98506	4193	83.6	0.91	3	2	0	0	0	0	0	0	-0.904	-0.027					
98506	4193	83.6	0.91	3	3	0	0	0	0	0	0	-0.904	-0.027			-0.904		
98508	4195	83.6	0.91	3	3	0	0	0	0	0.73	0	-0.904	0.002		-0.027			
98508	4195	83.6	0.91	3	4	0	0	0	0	0.73	0	-0.904	0.002		-0.027			-4.479
98876	4563	83.2	0.91	3	2	0	0	0	0	0.00	0	-0.905	-0.118					
98876	4563	83.2	0.91	3	3	0	0	0	0	0.00	0	-0.905	-0.118			-0.905		
98876	4563	83.2	0.91	3	3	0	0	0	0	0.00	0	-0.905	-0.118					-3.937
98876	4563	83.2	0.91	3	4	0	0	0	0	0.00	0	-0.905	-0.118			-0.905		-3.937
99542	5229	82.7	0.91	4	1	0	0	0	0	0	0	-0.909						
99542	5229	82.7	0.91	4	2	0	0	0	0	0	0	-0.909						-42.811
99542	5229	82.7	0.91	4	2	0	0	0	0	0	0	-0.909						-42.811
99542	5229	82.7	0.91	4	3	0	0	0	0	0	0	-0.909						-42.811
99542	5229	82.7	0.91	4	3	0	0	0	0	0	0	-0.909						-42.811
99542	5229	82.7	0.91	5	1	0	0	0	0	0	0	-0.909						-42.811
99542	5229	82.7	0.91	5	2	0	0	0	0	0	0	-0.909						-42.811
99542	5229	82.7	0.91	5	3	0	0	0	0	0	0	-0.909						-42.811
100406	6093	81.9	0.90	3	1	0	0	0	0	0	0	-0.905						
100406	6093	81.9	0.90	3	2	0	0	0	0	0	0	-0.905						-0.905
100406	6093	81.9	0.90	3	2	0	0	0	0	0	0	-0.905						-0.905
100406	6093	81.9	0.90	3	3	0	0	0	0	0	0	-0.905						-0.905

Tabla D.6: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_022

AIC	Δ AIC	Estadísticos				P-value							Beta					
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
93245	0	88.0	0.94	5	5	0	0											

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

Estadísticos						P-value						Beta						
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
93552	287	87.8	0.94	3	5	0	0	0	0	0.22	0		-0.955	-0.507	-0.125	-0.007	0.000	
93577	352	87.8	0.94	4	4	0	0	0	0	0	0		-0.821	-0.152	-0.129		-38.659	
93578	353	87.8	0.94	4	5	0	0	0	0	0.70	0		-0.821	-0.152	-0.127	-0.002	0.000	
93609	364	87.8	0.94	4	3	0	0	0	0	0	0		-0.842	-0.174	-0.129			
93610	365	87.8	0.94	4	4	0	0	0	0	0.64	0		-0.842	-0.174	-0.127	-0.005		
93758	515	87.7	0.94	5	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.752	-0.139		0.000	-35.422	
93758	515	87.7	0.94	5	5	0	0	0	0	0.00	0		-0.752	-0.139		0.000	-35.422	-6.545
93946	701	87.6	0.94	5	3	0	0	0	0	0.00	0		-0.835	-0.181		-1.191		
93946	701	87.6	0.94	5	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.835	-0.181		-1.191		-3.873
93973	728	87.6	0.94	3	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.937	-0.510		0.000	-0.937	
93973	728	87.6	0.94	3	5	0	0	0	0	0.00	0		-0.937	-0.510		0.000	-0.937	-0.309
94033	788	87.5	0.94	4	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.823	-0.154		0.000	-38.737	
94033	788	87.5	0.94	4	5	0	0	0	0	0.00	0		-0.823	-0.154		0.000	-38.737	-0.154
94050	805	87.5	0.94	3	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.810	-0.201	-0.106			-0.201
94052	807	87.5	0.94	3	5	0	0	0	0	0.95	0	0	-0.810	-0.201	-0.106	0.000		-0.810
94061	816	87.5	0.94	4	3	0	0	0	0	0.00	0		-0.843	-0.176		-1.201		
94061	816	87.5	0.94	4	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.843	-0.176		-1.201		-3.874
94087	842	87.5	0.94	3	3	0	0	0	0	0	0		-0.830	-0.201	-0.132			
94088	845	87.5	0.94	3	4	0	0	0	0	0.42	0		-0.830	-0.201	-0.128	-0.005		
94535	1290	87.2	0.93	3	3	0	0	0	0	0.00	0		-0.830	-0.202		-0.025		
94535	1290	87.2	0.93	3	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.830	-0.202		-0.025		-3.976
95793	2548	86.3	0.93	5	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.754	-0.139			-6.548	
95793	2548	86.3	0.93	5	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.754	-0.139			-6.548	-0.003
95954	2709	86.2	0.93	5	2	0	0	0	0	0	0		-0.835	-0.180				
95954	2709	86.2	0.93	5	3	0	0	0	0	0	0		-0.835	-0.180				-8.443
96036	2791	86.2	0.93	4	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.823	-0.154			-0.154	
96036	2791	86.2	0.93	4	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.823	-0.154			-0.154	0.000
96058	2813	86.1	0.93	4	2	0	0	0	0	0	0		-0.842	-0.175				
96058	2813	86.1	0.93	4	3	0	0	0	0	0	0		-0.842	-0.175				-0.175
96084	2839	86.1	0.93	3	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.956	-0.309			-0.308	
96084	2839	86.1	0.93	3	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.956	-0.309			-0.308	0.000
96584	3339	85.8	0.93	3	2	0	0	0	0	0	0		-0.830	-0.201				
96584	3339	85.8	0.93	3	3	0	0	0	0	0	0		-0.830	-0.201				-0.201
97167	3922	85.3	0.92	4	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.890	0.000	0.000			-0.002
97167	3922	85.3	0.92	4	4	0	0	0	0	0.14	0	0	-0.889	0.009	0.000			-3.550
97167	3922	85.3	0.92	4	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.890	0.000	0.000		-3.283	-0.002
97167	3922	85.3	0.92	4	5	0	0	0	0	0.14	0	0	-0.889	0.009	0.000		-41.887	-3.550
97167	3922	85.3	0.92	5	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.890	0.000	0.000			-0.002
97167	3922	85.3	0.92	5	4	0	0	0	0	0.14	0	0	-0.889	0.009	0.000			-3.550
97167	3922	85.3	0.92	5	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.890	0.000	0.000		-3.283	-0.002
97167	3922	85.3	0.92	5	5	0	0	0	0	0.14	0	0	-0.889	0.009	0.000		-41.887	-3.550
97215	3970	85.3	0.92	4	2	0	0	0	0	0	0		-0.914	-1.281				
97215	3970	85.3	0.92	4	3	0	0	0	0	0	0		-0.914	-1.281			-43.043	
97215	3970	85.3	0.92	5	2	0	0	0	0	0	0		-0.914	-1.281				
97215	3970	85.3	0.92	5	3	0	0	0	0	0	0		-0.914	-1.281			-43.043	
97216	3971	85.3	0.92	4	3	0	0	0	0	0.52	0	0	-0.914	0.004	-1.303			
97216	3971	85.3	0.92	4	4	0	0	0	0	0.52	0	0	-0.914	0.004	-1.303		-4.470	
97216	3971	85.3	0.92	5	3	0	0	0	0	0.52	0	0	-0.914	0.004	-1.303			
97216	3971	85.3	0.92	5	4	0	0	0	0	0.52	0	0	-0.914	0.004	-1.303		-4.470	
97629	4384	85.0	0.92	4	2	0	0	0	0	0	0		-0.915	-0.116				
97629	4384	85.0	0.92	4	3	0	0	0	0	0.00	0		-0.915	-0.116		-43.080		
97629	4384	85.0	0.92	4	3	0	0	0	0	0.00	0		-0.915	-0.116		-43.080		-3.859
97629	4384	85.0	0.92	4	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.915	-0.116		-43.080		-3.859
97629	4384	85.0	0.92	5	2	0	0	0	0	0.00	0		-0.915	-0.116		-43.080		
97629	4384	85.0	0.92	5	3	0	0	0	0	0.00	0		-0.915	-0.116		-43.080		-3.859
97629	4384	85.0	0.92	5	3	0	0	0	0	0.00	0		-0.915	-0.116		-43.080		-3.859
98702	5457	84.1	0.92	3	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.886	0.000	0.000			-0.001
98702	5457	84.1	0.92	3	4	0	0	0	0	0.24	0	0	-0.886	0.008	0.000			-3.747
98702	5457	84.1	0.92	3	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.886	0.000	0.000		-3.527	-0.001
98702	5457	84.1	0.92	3	5	0	0	0	0	0.24	0	0	-0.886	0.008	0.000		-0.886	-3.747
98734	5489	84.1	0.92	3	2	0	0	0	0	0	0		-0.907	-0.027				
98734	5489	84.1	0.92	3	3	0	0	0	0	0	0		-0.907	-0.027			-0.907	
98735	5490	84.1	0.92	3	3	0	0	0	0	0.64	0		-0.907	0.005	-0.027			
98735	5490	84.1	0.92	3	4	0	0	0	0	0.64	0		-0.907	0.005	-0.027		-4.551	
99131	5886	83.7	0.92	3	2	0	0	0	0	0	0		-0.908		-0.119			
99131	5886	83.7	0.92	3	3	0	0	0	0	0.00	0		-0.908		-0.119		-0.908	
99131	5886	83.7	0.92	3	3	0	0	0	0	0.00	0		-0.908		-0.119		-0.908	-3.944
99131	5886	83.7	0.92	3	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.908		-0.119		-0.908	-3.944
99272	6027	83.6	0.91	4	1	0	0	0	0	0	0		-0.914					
99272	6027	83.6	0.91	4	2	0	0	0	0	0	0		-0.914				-43.061	
99272	6027	83.6	0.91	4	2	0	0	0	0	0	0		-0.914				-43.061	-43.061
99272	6027	83.6	0.91	4	3	0	0	0	0	0	0		-0.914				-43.061	
99272	6027	83.6	0.91	5	1	0	0	0	0	0	0		-0.914					
99272	6027	83.6	0.91	5	2	0	0	0	0	0	0		-0.914				-43.061	
99272	6027	83.6	0.91	5	2	0	0	0	0	0	0		-0.914				-43.061	-43.061
99272	6027	83.6	0.91	5	3	0	0	0	0	0	0		-0.914				-43.061	-43.061
100735	7490	82.3	0.91	3	1	0	0	0	0	0	0		-0.907					
100735	7490	82.3	0.91	3	2	0	0	0	0	0	0		-0.907				-0.907	
100735	7490	82.3	0.91	3	2	0	0	0	0	0	0		-0.907				-0.907	-0.907
100735	7490	82.3	0.91	3	3	0	0	0	0	0	0		-0.907				-0.907	-0.907

Tabla D.7: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_023

Estadísticos						P-value						Beta						
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
94801	0	85.9	0.93	4	6	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.816	-0.067	-0.071	-0.024	0.000	-0.001
94811	10	85.9	0.93	5	6	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.765	-0.055	-0.073	-0.025	-0.004	-0.001
94812	11	85.9	0.93	4	5	0	0	0	0	0	0	0	-0.814	-0.067	-0.091	-0.002	-0.002	-38.330
94824	25	85.9	0.93	5	5													

		Estadísticos					P-value							Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
95046	245	85.7	0.95	5	4	0	0	0	0	0.00			-0.870	-0.099	-0.090	-0.032			
95067	266	85.7	0.95	5	3	0	0	0	0				-0.870	-0.099	-0.119				
95123	322	85.7	0.95	4	3	0	0	0		0.00			-0.872	-0.103		-1.232			
95123	322	85.7	0.95	4	4	0	0	0		0.00			-0.872	-0.103		-1.232		-3.791	
95234	435	85.6	0.92	5	3	0	0	0		0.00			-0.870	-0.100		-1.230			
95234	435	85.6	0.92	5	4	0	0	0		0.00			-0.870	-0.100		-1.230		-3.789	
95538	737	85.4	0.92	3	6	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.920	-0.213	-0.073	-0.028	0.000	-0.001	
95554	753	85.3	0.92	3	5	0	0	0	0	0	0	0	-0.917	-0.213	-0.096	-0.028	-0.001	-0.917	
95565	762	85.3	0.92	3	5	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.958	-0.214	-0.093	-0.032	0.000		
95584	785	85.3	0.92	3	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.937	-0.213	-0.122	-0.028	-0.937		
95755	954	85.2	0.92	3	4	0	0	0		0.00	0		-0.940	-0.216		0.000	-0.940		
95755	954	85.2	0.92	3	5	0	0	0		0.00	0		-0.940	-0.216		0.000	-0.940	-0.216	
95816	1015	85.2	0.92	3	5	0	0	0	0	0.00		0	-0.837	-0.131	-0.075	-0.024		-0.837	
95827	1026	85.1	0.92	3	4	0	0	0	0	0		0	-0.856	-0.131	-0.095			-0.131	
95843	1042	85.1	0.92	3	4	0	0	0	0	0.00			-0.856	-0.131	-0.096	-0.029			
95859	1058	85.1	0.92	3	3	0	0	0		0			-0.856	-0.131					
96040	1239	85.0	0.92	4	4	0	0	0	0	0.00		0	-0.895		-0.022	0.000		-2.405	
96040	1239	85.0	0.92	4	5	0	0	0	0	0.00	0		-0.895		-0.022	0.000	-42.033	-2.405	
96040	1239	85.0	0.92	5	4	0	0	0	0	0.00		0	-0.895		-0.022	0.000		-2.405	
96040	1239	85.0	0.92	5	5	0	0	0	0	0.00	0		-0.895		-0.022	0.000	-42.033	-2.405	
96046	1245	85.0	0.92	3	3	0	0	0		0.00			-0.856	-0.132		-0.026			
96046	1245	85.0	0.92	3	4	0	0	0		0.00			-0.856	-0.132		-0.026		-3.859	
96049	1248	85.0	0.92	4	3	0	0	0		0		0	-0.892		0.000			-0.002	
96049	1248	85.0	0.92	4	4	0	0	0		0	0		-0.892		0.000		-3.026	-0.002	
96049	1248	85.0	0.92	5	3	0	0	0		0		0	-0.892		0.000			-0.002	
96049	1248	85.0	0.92	5	4	0	0	0		0	0		-0.892		0.000		-3.026	-0.002	
96074	1273	85.0	0.92	4	3	0	0	0		0.00			-0.914		-0.027	-1.292			
96074	1273	85.0	0.92	4	4	0	0	0		0.00			-0.914		-0.027	-1.292		-3.184	
96074	1273	85.0	0.92	5	3	0	0	0		0.00			-0.914		-0.027	-1.292			
96074	1273	85.0	0.92	5	4	0	0	0		0.00			-0.914		-0.027	-1.292		-3.184	
96088	1287	84.9	0.92	4	2	0	0	0		0			-0.914		-1.283				
96088	1287	84.9	0.92	4	3	0	0	0		0			-0.914		-1.283		-45.004		
96088	1287	84.9	0.92	5	2	0	0	0		0			-0.914		-1.283				
96088	1287	84.9	0.92	5	3	0	0	0		0			-0.914		-1.283		-45.004		
96271	1470	84.8	0.92	4	2	0	0	0		0.00			-0.914			-0.113			
96271	1470	84.8	0.92	4	3	0	0	0		0.00			-0.914			-0.113	-45.029		
96271	1470	84.8	0.92	4	3	0	0	0		0.00			-0.914			-0.113		-3.765	
96271	1470	84.8	0.92	4	4	0	0	0		0.00			-0.914			-0.113	-45.029	-3.765	
96271	1470	84.8	0.92	5	2	0	0	0		0.00			-0.914			-0.113			
96271	1470	84.8	0.92	5	3	0	0	0		0.00			-0.914			-0.113	-45.029	-3.765	
96271	1470	84.8	0.92	5	4	0	0	0		0.00			-0.914			-0.113	-45.029	-3.765	
96702	1901	84.5	0.92	5	3	0	0	0		0	0		-0.780	-0.054			-2.529		
96702	1901	84.5	0.92	5	4	0	0	0		0	0		-0.780	-0.054			-2.529	-0.004	
96705	1904	84.4	0.92	4	3	0	0	0		0	0		-0.836	-0.065			-0.065		
96705	1904	84.4	0.92	4	4	0	0	0		0	0		-0.836	-0.065			-0.065	0.000	
96777	1976	84.4	0.92	4	2	0	0	0		0	0		-0.872	-0.102					
96777	1976	84.4	0.92	4	3	0	0	0		0	0		-0.872	-0.102				-0.102	
96878	2077	84.3	0.92	5	2	0	0	0		0	0		-0.870	-0.099					
96878	2077	84.3	0.92	5	3	0	0	0		0	0		-0.870	-0.099				-4.647	
97419	2618	83.8	0.92	3	3	0	0	0		0	0		-0.939	-0.215			-0.215	0.000	
97419	2618	83.8	0.92	3	4	0	0	0		0	0		-0.939	-0.215			-0.215	0.000	
97618	2817	83.7	0.92	3	4	0	0	0	0	0.00		0	-0.887		-0.020	0.000		-2.616	
97618	2817	83.7	0.92	3	5	0	0	0	0	0.00	0		-0.887		-0.020	0.000	-0.887	-2.616	
97624	2825	83.7	0.92	3	3	0	0	0		0		0	-0.886		0.000			-0.001	
97624	2825	83.7	0.92	3	4	0	0	0		0	0		-0.886		0.000		-3.186	-0.001	
97643	2842	83.7	0.92	3	3	0	0	0	0	0.00			-0.907		-0.024	-0.027			
97643	2842	83.7	0.92	3	4	0	0	0	0	0.00			-0.907		-0.024	-0.027	-3.337		
97655	2852	83.7	0.92	3	2	0	0	0		0			-0.907		-0.027				
97655	2852	83.7	0.92	3	3	0	0	0		0			-0.907		-0.027		-0.907		
97681	2880	83.6	0.91	3	2	0	0	0		0			-0.856	-0.131					
97681	2880	83.6	0.91	3	3	0	0	0		0			-0.856	-0.131				-0.131	
97812	3011	83.5	0.91	4	1	0	0	0		0			-0.914						
97812	3011	83.5	0.91	4	2	0	0	0		0			-0.914				-45.015		
97812	3011	83.5	0.91	4	2	0	0	0		0			-0.914					-43.015	
97812	3011	83.5	0.91	4	3	0	0	0		0			-0.914				-45.015	-43.015	
97812	3011	83.5	0.91	5	1	0	0	0		0			-0.914						
97812	3011	83.5	0.91	5	2	0	0	0		0			-0.914				-45.015		
97812	3011	83.5	0.91	5	2	0	0	0		0			-0.914					-43.015	
97812	3011	83.5	0.91	5	3	0	0	0		0			-0.914				-45.015	-43.015	
97842	3041	83.5	0.91	3	2	0	0	0		0.00			-0.907			-0.115			
97842	3041	83.5	0.91	3	3	0	0	0		0.00			-0.907			-0.115	-0.907		
97842	3041	83.5	0.91	3	3	0	0	0		0.00			-0.907			-0.115		-3.830	
97842	3041	83.5	0.91	3	4	0	0	0		0.00			-0.907			-0.115	-0.907	-3.830	
99513	4512	82.2	0.91	3	1	0	0	0		0			-0.906						
99513	4512	82.2	0.91	3	2	0	0	0		0			-0.906				-0.906		
99513	4512	82.2	0.91	3	2	0	0	0		0			-0.906					-0.906	
99513	4512	82.2	0.91	3	3	0	0	0		0			-0.906				-0.906	-0.906	

**Tabla D.8:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_024

		Estadísticos					P-value							Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
92859	0	87.8	0.94	5	5	0	0	0	0	0	0	0	-0.755	-0.142	-0.083		-0.002	-34.621	
92861	2	87.8	0.94	5	6	0	0	0	0	0.60	0	0	-0.755	-0.142	-0.080	-0.003	-0.003	-0.002	
92962	103	87.8	0.94	5	4	0	0	0	0	0	0		-0.759	-0.138	-0.126		-35.760		
92962	103	87.8	0.94	5	5	0	0	0	0	0.13	0		-0.759	-0.138	-0.117	-0.009	-0.003		
92988	129	87.8	0.94	5	4	0	0	0	0	0	0		-0.800	-0.177	-0.077			-8.290	
92990	131	87.8	0.94	5	5	0	0	0	0	0.70	0		-0.800	-0.177	-0.075	-0.002	-0.002	-37.681	
95124	265	87.7	0.94	5	4	0	0	0	0	0.13			-0.837	-0.176	-0.117	-0.009			
95125	266	87.7	0.94	5	3	0	0	0	0	0			-0.837	-0.176	-0.125				
95178	319	87.6	0.94	4	5	0	0	0	0	0									



D.2 Modelos previos configuraciones individuales

Estadísticos		P-value										Beta						
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
93390	531	87.5	0.94	3	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.958	-0.501	-0.128		-0.958	
93480	621	87.4	0.94	5	3	0	0	0	0	0.00			-0.837	-0.177		-1.192		
93480	621	87.4	0.94	5	4	0	0	0	0	0.00			-0.837	-0.177		-1.192		-3.819
93669	810	87.3	0.95	4	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.826	-0.150	0.000		-38.896	
93669	810	87.3	0.95	4	5	0	0	0	0	0.00	0		-0.826	-0.150	0.000		-38.896	-0.149
93695	834	87.3	0.95	4	3	0	0	0	0	0.00			-0.845	-0.170		-1.204		
93695	834	87.3	0.95	4	4	0	0	0	0	0.00			-0.845	-0.170		-1.204		-3.813
93739	880	87.3	0.95	3	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.959	-0.305	0.000		-0.959	
93739	880	87.3	0.95	3	5	0	0	0	0	0.00	0		-0.959	-0.305	0.000		-0.959	-0.302
93854	995	87.2	0.95	3	4	0	0	0	0		0		-0.802	-0.195	-0.090			-0.195
93855	996	87.2	0.95	3	5	0	0	0	0	0.31		0	-0.803	-0.195	-0.085	-0.006		-0.803
93931	1072	87.1	0.95	3	4	0	0	0	0	0.06			-0.832	-0.196		-0.012		
93933	1074	87.1	0.95	3	3	0	0	0	0				-0.832	-0.195	-0.129			
94279	1420	86.9	0.95	3	3	0	0	0	0	0.00			-0.832	-0.196		-0.025		
94279	1420	86.9	0.95	3	4	0	0	0	0	0.00			-0.832	-0.196		-0.025		-3.958
95275	2416	86.2	0.95	5	3	0	0	0	0		0		-0.763	-0.140			-6.546	
95275	2416	86.2	0.95	5	4	0	0	0	0		0		-0.763	-0.140			-6.546	-0.003
95405	2546	86.1	0.95	5	2	0	0	0	0				-0.837	-0.176				
95405	2546	86.1	0.95	5	3	0	0	0	0				-0.837	-0.176				-8.259
95574	2715	86.0	0.95	4	3	0	0	0	0		0		-0.827	-0.150			-0.150	
95574	2715	86.0	0.95	4	4	0	0	0	0		0		-0.827	-0.150			-0.150	0.000
95593	2734	86.0	0.95	4	2	0	0	0	0				-0.845	-0.169				
95593	2734	86.0	0.95	4	3	0	0	0	0				-0.845	-0.169				-0.168
95752	2893	85.8	0.95	3	3	0	0	0	0		0		-0.959	-0.302			-0.302	
95752	2893	85.8	0.95	3	4	0	0	0	0		0		-0.959	-0.302			-0.302	0.000
96240	3381	85.5	0.92	3	2	0	0	0	0				-0.832	-0.196				
96240	3381	85.5	0.92	3	3	0	0	0	0				-0.832	-0.196				-0.195
96561	3702	85.2	0.92	4	3	0	0	0	0		0		-0.882	0.000				-0.002
96561	3702	85.2	0.92	4	4	0	0	0	0		0		-0.882	0.000			-2.790	-0.002
96561	3702	85.2	0.92	5	3	0	0	0	0		0		-0.882	0.000				-0.002
96561	3702	85.2	0.92	5	4	0	0	0	0		0		-0.882	0.000			-2.790	-0.002
96562	3703	85.2	0.92	4	4	0	0	0	0	0.30		0	-0.882	0.007	0.000			-2.990
96562	3703	85.2	0.92	4	5	0	0	0	0	0.30	0		-0.882	0.007	0.000		-41.529	-2.990
96562	3703	85.2	0.92	5	4	0	0	0	0	0.30		0	-0.882	0.007	0.000			-2.990
96562	3703	85.2	0.92	5	5	0	0	0	0	0.30	0		-0.882	0.007	0.000		-41.529	-2.990
96647	3788	85.2	0.92	4	2	0	0	0	0				-0.914	-1.281				
96647	3788	85.2	0.92	4	3	0	0	0	0				-0.914	-1.281			-43.047	
96647	3788	85.2	0.92	5	2	0	0	0	0				-0.914	-1.281				
96647	3788	85.2	0.92	5	3	0	0	0	0				-0.914	-1.281			-43.047	
96649	3790	85.2	0.92	4	3	0	0	0	0	0.90			-0.914	0.001		-1.302		
96649	3790	85.2	0.92	4	4	0	0	0	0	0.90			-0.914	0.001		-1.302		-4.236
96649	3790	85.2	0.92	5	3	0	0	0	0	0.90			-0.914	0.001		-1.302		
96649	3790	85.2	0.92	5	4	0	0	0	0	0.90			-0.914	0.001		-1.302		-4.236
96995	4136	84.9	0.92	4	2	0	0	0	0	0.00			-0.915				-0.114	
96995	4136	84.9	0.92	4	3	0	0	0	0	0.00			-0.915				-43.087	
96995	4136	84.9	0.92	4	3	0	0	0	0	0.00			-0.915				-0.114	-3.766
96995	4136	84.9	0.92	4	4	0	0	0	0	0.00			-0.915				-43.087	-3.766
96995	4136	84.9	0.92	5	2	0	0	0	0	0.00			-0.915				-0.114	
96995	4136	84.9	0.92	5	3	0	0	0	0	0.00			-0.915				-43.087	
96995	4136	84.9	0.92	5	3	0	0	0	0	0.00			-0.915				-0.114	-3.766
96995	4136	84.9	0.92	5	4	0	0	0	0	0.00			-0.915				-43.087	-3.766
98168	5309	85.9	0.92	3	3	0	0	0	0		0		-0.876	0.000				-0.002
98168	5309	85.9	0.92	3	4	0	0	0	0		0		-0.876	0.000			-2.949	-0.002
98170	5311	85.9	0.92	3	4	0	0	0	0	0.71		0	-0.876	0.005	0.000			-3.023
98170	5311	85.9	0.92	3	5	0	0	0	0	0.71	0		-0.876	0.005	0.000		-0.876	-3.023
98239	5380	85.9	0.92	3	2	0	0	0	0				-0.907	-0.027				
98239	5380	85.9	0.92	3	3	0	0	0	0				-0.907	-0.027			-0.907	
98241	5382	85.9	0.92	3	3	0	0	0	0	0.61			-0.907	-0.003	-0.027			
98241	5382	85.9	0.92	3	4	0	0	0	0	0.61			-0.907	-0.003	-0.027		-4.218	
98557	5698	85.6	0.91	3	2	0	0	0	0	0.00			-0.908				-0.118	
98557	5698	85.6	0.91	3	3	0	0	0	0	0.00			-0.908				-0.118	-0.908
98557	5698	85.6	0.91	3	3	0	0	0	0	0.00			-0.908				-0.118	-3.894
98557	5698	85.6	0.91	3	4	0	0	0	0	0.00			-0.908				-0.118	-3.894
98567	5708	85.6	0.91	4	1	0	0	0	0				-0.914					
98567	5708	85.6	0.91	4	2	0	0	0	0				-0.914				-43.070	
98567	5708	85.6	0.91	4	2	0	0	0	0				-0.914					-43.070
98567	5708	85.6	0.91	4	3	0	0	0	0				-0.914				-43.070	
98567	5708	85.6	0.91	5	1	0	0	0	0				-0.914					
98567	5708	85.6	0.91	5	2	0	0	0	0				-0.914				-43.070	
98567	5708	85.6	0.91	5	2	0	0	0	0				-0.914					-43.070
98567	5708	85.6	0.91	5	3	0	0	0	0				-0.914				-43.070	-43.070
100106	7247	82.2	0.91	3	1	0	0	0	0				-0.907					
100106	7247	82.2	0.91	3	2	0	0	0	0				-0.907				-0.907	
100106	7247	82.2	0.91	3	2	0	0	0	0				-0.907					-0.907
100106	7247	82.2	0.91	3	3	0	0	0	0				-0.907				-0.907	-0.907

Tabla D.9: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_025

Estadísticos		P-value										Beta						
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
95165	0	85.3	0.92	5	5	0	0	0	0	0	0		-0.763	-0.040	-0.092		-0.002	-35.890
95166	1	85.3	0.92	5	6	0	0	0	0	0.61	0		-0.763	-0.040	-0.095	0.003	-0.004	-0.002
95182	17	85.3	0.92	4	5	0	0	0	0	0	0		-0.813	-0.048	-0.089		-0.002	-58.238
95184	19	85.3	0.92	4	6	0	0	0	0	0.52	0	0	-0.813	-0.048	-0.095	0.004	0.000	-0.002
95210	45	85.3	0.92	5	4	0	0	0	0	0			-0.781	-0.056	-0.124			-36.721
95212	47	85.3	0.92	5	5	0	0	0	0	0.77	0		-0.781	-0.056	-0.122	-0.002		-0.004
95238	73	85.2	0.92	4	4	0	0	0	0	0			-0.856	-0.044	-0.124			-39.306
95240	75	85.2	0.92	4	5	0	0	0	0	0.81	0		-0.856	-0.044	-0.122	-0.002	0.000	
95261	96	85.2	0.92	4	4	0	0	0	0	0		0	-0.846	-0.086	-0.084			-0.086
95262	97	85.2	0.92	4	5	0	0	0	0	0.53	0		-0.845	-0.086	-0.088	0.004		-39.761
95335	170	85.2	0.92	4	3	0	0	0	0	0			-0.876	-0.085	-0.			

		Estadísticos					P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
95975	810	84.7	0.92	3	5	0	0	0	0	0	0	0	-0.917	-0.193	-0.096	0.004	-0.002	-0.917
95976	811	84.7	0.92	3	6	0	0	0	0	0.52	0	0	-0.917	-0.193	-0.099	0.004	0.000	-0.002
96015	850	84.6	0.92	3	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.940	-0.193	-0.126			-0.940
96017	852	84.6	0.92	3	5	0	0	0	0	0.90	0	0	-0.940	-0.193	-0.125	-0.001	0.000	
96041	876	84.6	0.92	4	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.885	0.000				-0.002
96041	876	84.6	0.92	4	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.885	0.000				-2.905
96041	876	84.6	0.92	5	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.885	0.000				-0.002
96041	876	84.6	0.92	5	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.885	0.000				-2.905
96042	877	84.6	0.92	4	4	0	0	0	0	0.33	0	0	-0.885	0.007	0.000			-3.083
96042	877	84.6	0.92	4	5	0	0	0	0	0.33	0	0	-0.885	0.007	0.000			-41.527
96042	877	84.6	0.92	5	4	0	0	0	0	0.33	0	0	-0.885	0.007	0.000			-3.083
96042	877	84.6	0.92	5	5	0	0	0	0	0.33	0	0	-0.885	0.007	0.000			-41.527
96101	936	84.5	0.92	4	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.911	-1.283				
96101	936	84.5	0.92	4	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.911	-1.283				-42.833
96101	936	84.5	0.92	5	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.911	-1.283				
96101	936	84.5	0.92	5	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.911	-1.283				-42.833
96103	938	84.5	0.92	4	3	0	0	0	0	0.97	0	0	-0.911	0.000	-1.289			
96103	938	84.5	0.92	4	4	0	0	0	0	0.97	0	0	-0.911	0.000	-1.289			-4.120
96103	938	84.5	0.92	5	3	0	0	0	0	0.97	0	0	-0.911	0.000	-1.289			
96103	938	84.5	0.92	5	4	0	0	0	0	0.97	0	0	-0.911	0.000	-1.289			-4.120
96227	1062	84.5	0.92	3	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.837	-0.113	-0.095			-0.113
96228	1063	84.5	0.92	3	5	0	0	0	0	0.38	0	0	-0.836	-0.113	-0.100	0.006		-0.836
96268	1105	84.4	0.92	3	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.860	-0.113	-0.126			
96270	1105	84.4	0.92	3	4	0	0	0	0	0.91	0	0	-0.860	-0.113	-0.127	0.001		
96365	1200	84.3	0.92	3	4	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.942	-0.196		0.000		-0.942
96365	1200	84.3	0.92	3	5	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.942	-0.196		0.000		-0.942
96438	1273	84.3	0.92	4	2	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.911			-0.111		
96438	1273	84.3	0.92	4	3	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.911			-0.111		-42.864
96438	1273	84.3	0.92	4	4	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.911			-0.111		-3.704
96438	1273	84.3	0.92	4	5	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.911			-0.111		-3.704
96438	1273	84.3	0.92	5	2	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.911			-0.111		
96438	1273	84.3	0.92	5	3	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.911			-0.111		-42.864
96438	1273	84.3	0.92	5	4	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.911			-0.111		-3.704
96438	1273	84.3	0.92	5	5	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.911			-0.111		-3.704
96623	1458	84.1	0.92	3	3	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.860	-0.114		-0.026		
96623	1458	84.1	0.92	3	4	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.860	-0.114		-0.026		-3.801
97097	1932	83.7	0.92	5	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.785	-0.038				-1.783
97097	1932	83.7	0.92	5	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.785	-0.038				-1.783
97124	1959	83.7	0.92	4	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.838	-0.045				-0.045
97124	1959	83.7	0.92	4	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.838	-0.045				-0.045
97203	2038	83.6	0.92	4	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.876	-0.085				
97203	2038	83.6	0.92	4	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.876	-0.085				-0.085
97263	2098	83.6	0.91	5	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.875	-0.083				
97263	2098	83.6	0.91	5	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.875	-0.083				-3.877
97526	2361	83.4	0.91	3	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.880		0.000			-0.002
97526	2361	83.4	0.91	3	4	0	0	0	0	0.14	0	0	-0.879		0.010	0.000		-3.441
97526	2361	83.4	0.91	3	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.880		0.000			-3.161
97526	2361	83.4	0.91	3	5	0	0	0	0	0.14	0	0	-0.879		0.010	0.000		-0.879
97566	2401	83.3	0.91	3	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.904	-0.027				
97566	2401	83.3	0.91	3	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.904	-0.027				-0.904
97568	2405	83.3	0.91	3	3	0	0	0	0	0.49	0	0	-0.904	0.005	-0.027			
97568	2405	83.3	0.91	3	4	0	0	0	0	0.49	0	0	-0.904	0.005	-0.027			-4.361
97895	2728	83.0	0.91	4	1	0	0	0	0	0	0	0	-0.911					
97895	2728	83.0	0.91	4	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.911					-42.864
97895	2728	83.0	0.91	4	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.911					-42.864
97895	2728	83.0	0.91	4	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.911					-42.864
97895	2728	83.0	0.91	5	1	0	0	0	0	0	0	0	-0.911					-42.864
97895	2728	83.0	0.91	5	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.911					-42.864
97895	2728	83.0	0.91	5	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.911					-42.864
97895	2728	83.0	0.91	5	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.911					-42.864
97899	2734	83.0	0.91	3	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.942	-0.195				-0.194
97899	2734	83.0	0.91	3	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.942	-0.195				-0.194
97916	2751	83.0	0.91	3	2	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.904		-0.113			
97916	2751	83.0	0.91	3	3	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.904		-0.113			-0.904
97916	2751	83.0	0.91	3	3	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.904		-0.113			-3.772
97916	2751	83.0	0.91	3	4	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.904		-0.113			-0.904
98137	2972	82.8	0.91	3	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.860	-0.113				
98137	2972	82.8	0.91	3	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.860	-0.113				-0.113
99313	4148	81.7	0.90	3	1	0	0	0	0	0	0	0	-0.904					
99313	4148	81.7	0.90	3	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.904					-0.904
99313	4148	81.7	0.90	3	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.904					-0.904
99313	4148	81.7	0.90	3	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.904					-0.904

**Tabla D.10:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_026

		Estadísticos					P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
89267	0	88.5	0.94	3	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.899	-0.279	-0.047	0.021	0.000	-0.001
89277	10	88.5	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.901	-0.279	-0.029		-0.001	-0.901
89307	40	88.5	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.920	-0.279	-0.069	0.017	0.000	
89313	46	88.4	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.920	-0.279	-0.054			-0.920
89442	175	88.4	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.921	-0.280		0.000	-0.921	
89442	175	88.4	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.921	-0.280		0.000	-0.921	-0.280
89580	313	88.5	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.821	-0.202	-0.047	0.022		-0.821
89592	325	88.5	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.822	-0.202	-0.028			-0.201
89623	356	88.2	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.842	-0.202	-0.071	0.018		
89631	364	88.2	0.94	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.842	-0.202	-0.054			
89765	496	88.2	0.94	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.845	-0.202		-0.025		
89765	496	88.2	0.94	3	4	0	0											

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

AIC	Δ AIC	Estadísticos				P-value						Beta					
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo
90895	1628	87.5	0.94	4	5	0	0	0	0.15	0	0	-0.756	-0.122	-0.007	0.022	-0.002	-35.602
90912	1645	87.4	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	-0.856	-0.188	-0.072			
90923	1656	87.4	0.94	5	3	0	0	0	0.00			-0.856	-0.188	-0.051			
90995	1726	87.4	0.94	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	-0.786	-0.117	-0.077	0.027	0.000	
91010	1743	87.4	0.94	4	4	0	0	0	0.00		0	-0.787	-0.117	-0.052			-37.055
91044	1777	87.3	0.94	5	3	0	0	0		0.00		-0.856	-0.189		-1.187		
91044	1777	87.3	0.94	5	4	0	0	0		0.00		-0.856	-0.189		-1.187		-1.424
91078	1811	87.3	0.95	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	-0.804	-0.179	-0.029	0.054		-37.854
91106	1859	87.3	0.95	4	4	0	0	0	0.92		0	-0.806	-0.179	0.000			-0.179
91145	1878	87.3	0.95	4	4	0	0	0		0.00	0	-0.787	-0.117		0.000	-37.066	
91145	1878	87.3	0.95	4	5	0	0	0		0.00	0	-0.787	-0.117		0.000	-37.066	-0.117
91241	1974	87.2	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0.00		-0.845	-0.178	-0.076	0.026		
91256	1989	87.2	0.95	4	3	0	0	0	0.00			-0.845	-0.178	-0.052			
91319	2052	87.2	0.95	5	2	0	0	0				-0.856	-0.188				
91319	2052	87.2	0.95	5	3	0	0	0				-0.856	-0.188				-8.845
91387	2120	87.1	0.95	4	3	0	0	0		0.00		-0.846	-0.178		-1.201		
91387	2120	87.1	0.95	4	4	0	0	0		0.00		-0.846	-0.178		-1.201		-1.420
91419	2152	87.1	0.95	4	3	0	0	0			0	-0.787	-0.117			-0.117	
91419	2152	87.1	0.95	4	4	0	0	0			0	-0.787	-0.117			-0.117	0.000
91655	2388	86.9	0.95	4	2	0	0	0				-0.846	-0.178				
91655	2388	86.9	0.95	4	3	0	0	0				-0.846	-0.178				-0.178
94549	5282	84.8	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	-0.897		0.023	0.000		-1.522
94549	5282	84.8	0.92	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	-0.897		0.023	0.000	-0.897	-1.522
94559	5292	84.8	0.92	3	3	0	0	0	0.00		0	-0.898		0.000			-0.001
94559	5292	84.8	0.92	3	4	0	0	0	0.00		0	-0.898		0.000		-0.863	-0.001
94587	5320	84.8	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00		-0.919		0.019	-0.028		
94587	5320	84.8	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00		-0.919		0.019	-0.028	-2.372	
94593	5326	84.8	0.92	3	2	0	0	0				-0.919		-0.027			
94593	5326	84.8	0.92	3	3	0	0	0				-0.919		-0.027		-0.919	
94694	5427	84.7	0.92	3	2	0	0	0		0.00		-0.920			-0.045		
94694	5427	84.7	0.92	3	3	0	0	0		0.00		-0.920			-0.045	-0.920	
94694	5427	84.7	0.92	3	3	0	0	0		0.00		-0.920			-0.045		-1.504
94694	5427	84.7	0.92	3	4	0	0	0		0.00		-0.920			-0.045	-0.920	-1.504
94745	5478	84.7	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0.00	0	-0.882		0.033	0.000		-1.163
94745	5478	84.7	0.92	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	-0.882		0.033	0.000	-41.529	-1.163
94745	5478	84.7	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	-0.882		0.033	0.000		-1.163
94745	5478	84.7	0.92	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0	-0.882		0.033	0.000	-41.529	-1.163
94767	5500	84.6	0.92	4	3	0	0	0	0.25		0	-0.884		0.000			-0.002
94767	5500	84.6	0.92	4	4	0	0	0	0.25		0	-0.884		0.000		-0.206	-0.002
94767	5500	84.6	0.92	5	3	0	0	0	0.25		0	-0.884		0.000			-0.002
94767	5500	84.6	0.92	5	4	0	0	0	0.25		0	-0.884		0.000		-0.206	-0.002
94847	5580	84.6	0.92	4	3	0	0	0	0.00	0.00		-0.918		0.027	-1.303		
94847	5580	84.6	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0.00		-0.918		0.027	-1.303	-2.538	
94847	5580	84.6	0.92	5	3	0	0	0	0.00	0.00		-0.918		0.027	-1.303		
94847	5580	84.6	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0.00		-0.918		0.027	-1.303	-2.538	
94861	5594	84.5	0.92	4	2	0	0	0				-0.918		-1.291			
94861	5594	84.5	0.92	4	3	0	0	0				-0.918		-1.291		-43.224	
94861	5594	84.5	0.92	5	2	0	0	0				-0.918		-1.291			
94861	5594	84.5	0.92	5	3	0	0	0	0.00			-0.918		-1.291		-43.224	
94947	5680	84.5	0.92	3	1	0	0	0				-0.919					
94947	5680	84.5	0.92	3	2	0	0	0				-0.919				-0.919	
94947	5680	84.5	0.92	3	2	0	0	0				-0.919					-0.919
94947	5680	84.5	0.92	3	3	0	0	0				-0.919				-0.919	-0.919
94968	5701	84.5	0.92	4	2	0	0	0		0.00		-0.918			-0.042		
94968	5701	84.5	0.92	4	3	0	0	0		0.00		-0.918			-0.042	-45.240	
94968	5701	84.5	0.92	4	3	0	0	0		0.00		-0.918			-0.042		-1.386
94968	5701	84.5	0.92	4	4	0	0	0		0.00		-0.918			-0.042	-45.240	-1.386
94968	5701	84.5	0.92	5	2	0	0	0		0.00		-0.918			-0.042		
94968	5701	84.5	0.92	5	3	0	0	0		0.00		-0.918			-0.042	-45.240	
94968	5701	84.5	0.92	5	3	0	0	0		0.00		-0.918			-0.042		-1.386
94968	5701	84.5	0.92	5	4	0	0	0		0.00		-0.918			-0.042	-45.240	-1.386
95180	5913	84.3	0.92	4	1	0	0	0				-0.918					
95180	5913	84.3	0.92	4	2	0	0	0				-0.918				-45.230	
95180	5913	84.3	0.92	4	2	0	0	0				-0.918					-43.230
95180	5913	84.3	0.92	4	3	0	0	0				-0.918				-45.230	-43.230
95180	5913	84.3	0.92	5	1	0	0	0				-0.918					
95180	5913	84.3	0.92	5	2	0	0	0				-0.918				-45.230	
95180	5913	84.3	0.92	5	2	0	0	0				-0.918					-43.230
95180	5913	84.3	0.92	5	3	0	0	0				-0.918				-45.230	-43.230

Tabla D.11: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_03

AIC	Δ AIC	Estadísticos				P-value						Beta					
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo
89864	0	88.0	0.94	3	6	0	0	0	0.00	0	0	-0.897	-0.255	-0.042	0.028	0.000	-0.002
89884	20	88.0	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0	0	-0.899	-0.256	-0.020		-0.002	-0.899
89926	62	88.0	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0	0	-0.922	-0.256	-0.070	0.022	0.000	
89938	74	88.0	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0	0	-0.923	-0.256	-0.050		-0.923	
90064	200	87.9	0.94	3	4	0	0	0		0	0	-0.923	-0.257		0.000	-0.923	
90064	200	87.9	0.94	3	5	0	0	0		0	0	-0.923	-0.257		0.000	-0.923	-0.257
90123	259	87.9	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0	0	-0.825	-0.184	-0.045	0.030		-0.825
90145	281	87.9	0.94	3	4	0	0	0	0.00		0	-0.827	-0.184	-0.019			-0.184
90187	323	87.8	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0		-0.851	-0.184	-0.072	0.024		
90201	337	87.8	0.94	3	3	0	0	0	0.00			-0.851	-0.185	-0.050			
90330	466	87.8	0.94	3	3	0	0	0		0		-0.851	-0.185		-0.026		
90330	466	87.8	0.94	3	4	0	0	0		0		-0.851	-0.185		-0.026		-1.378
90338	474	87.8	0.94	3	3	0	0	0		0		-0.923	-0.257			-0.256	
90338	474	87.8	0.94	3	4	0	0	0		0		-0.923	-0.257			-0.256	0.000
90596	732	87.6	0.94	3	2	0	0	0				-0.851	-0.185				
90596	732	87.6	0.94	3	3	0	0	0				-0.851	-0.185				-0.185
90732	868	87.5	0.94	3	6	0	0	0	0.00	0	0	-0.658	-0.096	-0.051	0.033	-0.006	-0.002
90759	895	87.5	0.94	3	5	0	0	0	0.42	0	0	-0.661	-0.097	-0.004		-0.002	-51.147
90855	991	87.4	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0	0	-0.686	-0.091	-0.071	0.025	-0.007	

		Estadísticos					P-value							Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
91526	1662	87.0	0.95	5	3	0	0	0	0.00				-0.845	-0.170	-0.048				
91530	1666	87.0	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0			-0.791	-0.096	-0.049	0.055		-37.302	
91594	1730	86.9	0.95	4	5	0	0	0	0.00	0			-0.808	-0.162	-0.021			-38.102	
91624	1760	86.9	0.95	4	4	0	0	0	0.11				-0.811	-0.162	0.008			-0.162	
91634	1770	86.9	0.95	5	3	0	0	0		0			-0.845	-0.171				-1.203	
91634	1770	86.9	0.95	5	4	0	0	0		0			-0.845	-0.171				-1.315	
91649	1785	86.9	0.95	4	4	0	0	0		0	0		-0.792	-0.096		0.000		-37.331	
91649	1785	86.9	0.95	4	5	0	0	0		0	0		-0.792	-0.096		0.000		-37.331	
91784	1920	86.8	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0			-0.854	-0.161	-0.071	0.025			
91798	1954	86.8	0.95	4	3	0	0	0	0.00				-0.854	-0.161	-0.049				
91861	1997	86.7	0.95	5	2	0	0	0					-0.845	-0.171					
91861	1997	86.7	0.95	5	3	0	0	0					-0.845	-0.171				-8.027	
91873	2009	86.7	0.95	4	3	0	0	0			0		-0.792	-0.096				-0.096	
91873	2009	86.7	0.95	4	4	0	0	0			0		-0.792	-0.096				-0.096	
91912	2048	86.7	0.95	4	3	0	0	0		0			-0.854	-0.162		-1.215			
91912	2048	86.7	0.95	4	4	0	0	0		0			-0.854	-0.162		-1.215			
92134	2270	86.5	0.95	4	2	0	0	0					-0.854	-0.161					
92134	2270	86.5	0.95	4	3	0	0	0					-0.854	-0.161				-0.161	
94258	4394	85.0	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0			-0.892		0.035	0.000		-1.536	
94258	4394	85.0	0.92	3	5	0	0	0	0.00	0	0		-0.892		0.035	0.000	-0.892	-1.536	
94284	4420	85.0	0.92	3	3	0	0	0	0.00				-0.894		0.000			-0.002	
94284	4420	85.0	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0			-0.894		0.000			-0.566	
94319	4455	84.9	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0			-0.920		0.028	-0.028			
94319	4455	84.9	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0			-0.920		0.028	-0.028	-2.570		
94336	4472	84.9	0.92	3	2	0	0	0	0.00				-0.920		-0.027			-0.920	
94336	4472	84.9	0.92	3	3	0	0	0	0.00				-0.920		-0.027			-0.920	
94450	4586	84.8	0.92	3	2	0	0	0					-0.920			-0.041			
94450	4586	84.8	0.92	3	3	0	0	0					-0.920			-0.041		-0.920	
94450	4586	84.8	0.92	3	3	0	0	0					-0.920			-0.041		-1.354	
94450	4586	84.8	0.92	3	4	0	0	0					-0.920			-0.041		-1.354	
94574	4710	84.7	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0			-0.877		0.039	0.000		-0.995	
94574	4710	84.7	0.92	4	5	0	0	0	0.00	0	0		-0.877		0.039	0.000	-41.342	-0.995	
94574	4710	84.7	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0			-0.877		0.039	0.000		-0.995	
94574	4710	84.7	0.92	5	5	0	0	0	0.00	0	0		-0.877		0.039	0.000	-41.342	-0.995	
94605	4741	84.7	0.92	4	3	0	0	0	0.66				-0.880		0.000			-0.003	
94605	4741	84.7	0.92	4	4	0	0	0	0.66	0			-0.880		0.000		0.080	-0.003	
94605	4741	84.7	0.92	5	3	0	0	0	0.66				-0.880		0.000			-0.003	
94605	4741	84.7	0.92	5	4	0	0	0	0.66	0			-0.880		0.000		0.080	-0.003	
94658	4794	84.7	0.92	3	1	0	0	0					-0.920						
94658	4794	84.7	0.92	3	2	0	0	0					-0.920					-0.920	
94658	4794	84.7	0.92	3	2	0	0	0					-0.920					-0.920	
94658	4794	84.7	0.92	3	3	0	0	0					-0.920					-0.920	
94709	4845	84.6	0.92	4	3	0	0	0	0.00	0			-0.918		0.029	-1.307			
94709	4845	84.6	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0			-0.918		0.029	-1.307	-2.516		
94709	4845	84.6	0.92	5	3	0	0	0	0.00	0			-0.918		0.029	-1.307			
94709	4845	84.6	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0			-0.918		0.029	-1.307	-2.516		
94726	4862	84.6	0.92	4	2	0	0	0	0.00				-0.918		-1.294				
94726	4862	84.6	0.92	4	3	0	0	0	0.00				-0.918		-1.294			-43.291	
94726	4862	84.6	0.92	5	2	0	0	0	0.00				-0.918		-1.294				
94726	4862	84.6	0.92	5	3	0	0	0	0.00				-0.918		-1.294			-43.291	
94832	4968	84.5	0.92	4	2	0	0	0					-0.918			-0.039			
94832	4968	84.5	0.92	4	3	0	0	0					-0.918			-0.039		-43.305	
94832	4968	84.5	0.92	4	3	0	0	0					-0.918			-0.039		-1.285	
94832	4968	84.5	0.92	4	4	0	0	0					-0.918			-0.039		-1.285	
94832	4968	84.5	0.92	5	2	0	0	0					-0.918			-0.039			
94832	4968	84.5	0.92	5	3	0	0	0					-0.918			-0.039		-43.305	
94832	4968	84.5	0.92	5	3	0	0	0					-0.918			-0.039		-1.285	
94832	4968	84.5	0.92	5	4	0	0	0					-0.918			-0.039		-1.285	
95016	5152	84.4	0.92	4	1	0	0	0					-0.918						
95016	5152	84.4	0.92	4	2	0	0	0					-0.918					-43.304	
95016	5152	84.4	0.92	4	2	0	0	0					-0.918					-43.304	
95016	5152	84.4	0.92	4	3	0	0	0					-0.918					-43.304	
95016	5152	84.4	0.92	5	1	0	0	0					-0.918						
95016	5152	84.4	0.92	5	2	0	0	0					-0.918					-43.304	
95016	5152	84.4	0.92	5	2	0	0	0					-0.918					-43.304	
95016	5152	84.4	0.92	5	3	0	0	0					-0.918					-43.304	

Tabla D.12: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_04

		Estadísticos					P-value							Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
93499	0	87.0	0.95	5	5	0	0	0	0		0	0	-0.758	-0.122	-0.075			-0.002	
93499	0	87.0	0.95	5	6	0	0	0	0	0.15	0	0	-0.757	-0.122	-0.081	0.009		-0.003	
93615	116	86.9	0.95	5	4	0	0	0	0				-0.764	-0.117	-0.119			-35.978	
93617	118	86.9	0.95	5	5	0	0	0	0	0.93	0		-0.764	-0.117	-0.120	0.001		-0.003	
93626	127	86.9	0.95	5	4	0	0	0	0				-0.804	-0.157	-0.067			-7.587	
93626	127	86.9	0.95	5	5	0	0	0	0	0.14			-0.805	-0.157	-0.074	0.009		-37.814	
93745	246	86.8	0.95	3	5	0	0	0	0				-0.914	-0.281	-0.082			-0.914	
93747	248	86.8	0.95	3	6	0	0	0	0	0.54	0	0	-0.914	-0.281	-0.085	0.004	0.000	-0.002	
93778	279	86.8	0.95	5	3	0	0	0	0				-0.845	-0.156	-0.119				
93780	281	86.8	0.95	5	4	0	0	0	0	0.96			-0.845	-0.156	-0.118	0.000		-0.003	
93785	284	86.8	0.95	4	6	0	0	0	0	0.05	0	0	-0.795	-0.131	-0.080	0.012	0.000	-0.003	
93785	286	86.8	0.95	4	5	0	0	0	0				-0.796	-0.131	-0.071			-37.467	
93805	304	86.8	0.95	4	5	0	0	0	0	0.05	0		-0.811	-0.150	-0.078	0.012		-38.192	
93805	306	86.8	0.95	4	4	0	0	0	0				-0.812	-0.150	-0.068			-0.150	
93829	330	86.8	0.95	3	4	0	0	0	0				-0.945	-0.282	-0.121			-0.945	
93830	331	86.8	0.95	3	5	0	0	0	0	0.56	0		-0.945	-0.282	-0.118	-0.004	0.000		
93916	417	86.7	0.95	4	4	0	0	0	0				-0.829	-0.125	-0.119			-39.020	
93918	419	86.7	0.95	4	5	0	0	0	0	0.61	0		-0.829	-0.125	-0.122	0.005	0.000		
93950	451	86.7	0.95	4	3	0	0	0	0				-0.852	-0.149	-0.119				
93952	453	86.7	0.95	4	4	0	0	0	0	0.66			-0.852	-0.149	-0.122	0.003		-36.030	
93994	495	86.6	0.95	5	4	0	0	0	0										

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

		Estadísticos				P-value							Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
94341	842	86.4	0.95	3	4	0	0	0	0	0.82			-0.840	-0.176	-0.120	-0.001		
94707	1208	86.1	0.95	3	3	0	0	0	0	0.00			-0.859	-0.178		-0.025		
94707	1208	86.1	0.95	3	4	0	0	0	0	0.00			-0.859	-0.178		-0.025		-5.647
95574	2075	85.5	0.92	5	3	0	0	0			0		-0.767	-0.119			-5.577	
95574	2075	85.5	0.92	5	4	0	0	0			0		-0.767	-0.119			-5.577	-0.005
95710	2211	85.4	0.92	5	2	0	0	0					-0.844	-0.157				
95710	2211	85.4	0.92	5	3	0	0	0					-0.844	-0.157				-7.366
95826	2527	85.3	0.92	3	3	0	0	0			0		-0.946	-0.283			-0.283	
95826	2527	85.3	0.92	3	4	0	0	0			0		-0.946	-0.283			-0.283	0.000
95853	2554	85.3	0.92	4	3	0	0	0			0		-0.851	-0.127			-0.127	
95853	2554	85.3	0.92	4	4	0	0	0			0		-0.851	-0.127			-0.127	0.000
95880	2581	85.2	0.92	4	2	0	0	0					-0.852	-0.149				
95880	2581	85.2	0.92	4	3	0	0	0					-0.852	-0.149				-0.149
96298	2799	84.9	0.92	3	2	0	0	0					-0.859	-0.177				
96298	2799	84.9	0.92	3	3	0	0	0					-0.859	-0.177				-0.176
96320	2821	84.9	0.92	4	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.877		0.020	0.000		-5.041
96320	2821	84.9	0.92	4	5	0	0	0	0	0.00	0		-0.877		0.020	0.000	-41.275	-5.041
96320	2821	84.9	0.92	5	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.877		0.020	0.000	-41.275	-5.041
96320	2821	84.9	0.92	5	5	0	0	0	0	0.00	0		-0.877		0.020	0.000	-41.275	-5.041
96327	2828	84.9	0.92	4	3	0	0	0			0		-0.878		0.000		-2.495	-0.002
96327	2828	84.9	0.92	4	4	0	0	0			0		-0.878		0.000		-2.495	-0.002
96327	2828	84.9	0.92	5	3	0	0	0			0		-0.878		0.000		-2.495	-0.002
96327	2828	84.9	0.92	5	4	0	0	0			0		-0.878		0.000		-2.495	-0.002
96425	2926	84.8	0.92	4	3	0	0	0	0	0.08			-0.913		0.011	-1.295		
96425	2926	84.8	0.92	4	4	0	0	0	0	0.08			-0.913		0.011	-1.295		-4.350
96425	2926	84.8	0.92	5	3	0	0	0	0	0.08			-0.913		0.011	-1.295		-4.350
96425	2926	84.8	0.92	5	4	0	0	0	0	0.08			-0.913		0.011	-1.295		-4.350
96426	2927	84.8	0.92	4	2	0	0	0					-0.913		-1.282			
96426	2927	84.8	0.92	4	3	0	0	0					-0.913		-1.282			-42.973
96426	2927	84.8	0.92	5	2	0	0	0					-0.913		-1.282			-42.973
96426	2927	84.8	0.92	5	3	0	0	0					-0.913		-1.282			-42.973
96808	3309	84.5	0.92	4	2	0	0	0	0	0.00			-0.913			-0.106		
96808	3309	84.5	0.92	4	3	0	0	0	0	0.00			-0.913			-0.106		-42.982
96808	3309	84.5	0.92	4	3	0	0	0	0	0.00			-0.913			-0.106		-42.982
96808	3309	84.5	0.92	5	2	0	0	0	0	0.00			-0.913			-0.106		-3.511
96808	3309	84.5	0.92	5	3	0	0	0	0	0.00			-0.913			-0.106		-42.982
96808	3309	84.5	0.92	5	4	0	0	0	0	0.00			-0.913			-0.106		-42.982
96808	3309	84.5	0.92	5	3	0	0	0	0	0.00			-0.913			-0.106		-3.511
96808	3309	84.5	0.92	5	4	0	0	0	0	0.00			-0.913			-0.106		-42.982
96808	3309	84.5	0.92	5	4	0	0	0	0	0.00			-0.913			-0.106		-3.511
97649	4150	85.8	0.92	3	4	0	0	0	0	0.02		0	-0.874		0.016	0.000		-3.159
97649	4150	85.8	0.92	3	5	0	0	0	0	0.02		0	-0.874		0.016	0.000	-0.874	-3.159
97653	4154	85.8	0.92	3	3	0	0	0					-0.875		0.000			-0.002
97653	4154	85.8	0.92	3	4	0	0	0			0		-0.875		0.000		-2.707	-0.002
97727	4228	85.8	0.92	3	2	0	0	0					-0.907		-0.027			
97727	4228	85.8	0.92	3	3	0	0	0	0	0.20			-0.907		0.009	-0.027		
97727	4228	85.8	0.92	3	3	0	0	0					-0.907		-0.027			-0.907
97727	4228	85.8	0.92	3	4	0	0	0	0	0.20			-0.907		0.009	-0.027		-4.349
98085	4586	85.4	0.91	3	2	0	0	0					-0.907			-0.108		
98085	4586	85.4	0.91	3	3	0	0	0					-0.907			-0.108		-0.907
98085	4586	85.4	0.91	3	3	0	0	0					-0.907			-0.108		-3.599
98085	4586	85.4	0.91	3	4	0	0	0					-0.907			-0.108		-3.599
98157	4638	85.4	0.91	4	1	0	0	0					-0.913					
98157	4638	85.4	0.91	4	2	0	0	0					-0.913					-42.980
98157	4638	85.4	0.91	4	2	0	0	0					-0.913					-42.980
98157	4638	85.4	0.91	4	3	0	0	0					-0.913					-42.980
98157	4638	85.4	0.91	5	1	0	0	0					-0.913					-42.980
98157	4638	85.4	0.91	5	2	0	0	0					-0.913					-42.980
98157	4638	85.4	0.91	5	2	0	0	0					-0.913					-42.980
98157	4638	85.4	0.91	5	3	0	0	0					-0.913					-42.980
99392	5895	82.3	0.91	3	1	0	0	0					-0.907					
99392	5895	82.3	0.91	3	2	0	0	0					-0.907					-0.907
99392	5895	82.3	0.91	3	2	0	0	0					-0.907					-0.907
99392	5895	82.3	0.91	3	3	0	0	0					-0.907					-0.907

Tabla D.13: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_042

		Estadísticos				P-value							Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
89084	0	88.1	0.94	3	6	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.905	-0.234	-0.050	0.025	0.000	-0.001
89100	16	88.0	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.905	-0.235	-0.029		-0.001	-0.905
89105	21	88.0	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.919	-0.235	-0.067	0.022	0.000	
89118	34	88.0	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.919	-0.235	-0.047		-0.919	
89233	149	88.0	0.94	3	4	0	0	0		0	0		-0.920	-0.236		0.000	-0.920	
89233	149	88.0	0.94	3	5	0	0	0	0	0	0		-0.920	-0.236		0.000	-0.920	-0.235
89284	200	87.9	0.94	3	5	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.840	-0.171	-0.051	0.027		-0.840
89302	218	87.9	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.842	-0.172	-0.029			-0.171
89307	223	87.9	0.94	3	4	0	0	0	0.00	0			-0.856	-0.171	-0.069	0.024		
89321	237	87.9	0.94	3	3	0	0	0	0.00				-0.856	-0.172	-0.047			
89440	356	87.8	0.94	3	3	0	0	0		0			-0.856	-0.172		-0.026		
89440	356	87.8	0.94	3	4	0	0	0		0			-0.856	-0.172		-0.026		-1.289
89466	382	87.8	0.94	3	3	0	0	0			0		-0.920	-0.236			-0.235	
89466	382	87.8	0.94	3	4	0	0	0			0		-0.920	-0.236			-0.235	0.000
89671	587	87.7	0.94	3	2	0	0	0					-0.856	-0.171				
89671	587	87.7	0.94	3	3	0	0	0					-0.856	-0.171				-0.171
89838	754	87.6	0.94	5	6	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.663	-0.077	-0.036	0.030	-0.007	-0.002
89860	776	87.6	0.94	5	5	0	0	0	0.02	0	0	0	-0.665	-0.077	-0.011		-0.002	-51.309
89908	824	87.5	0.94	5	5	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.683	-0.073	-0.067	0.025	-0.007	
89923	839	87.5	0.94	5	4	0	0	0	0.00	0	0	0	-0.684	-0.074	-0.044		-32.215	
90028	944	87.5	0.94	5	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.685	-0.074		0.000	-32.277	
90028	944	87.5	0.94	5	5	0	0	0	0	0	0	0	-0.685	-0.074		0.000	-32.277	-3.495
90219	1155	87.3	0.95	5	3													

Estadísticos		P-value							Beta									
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
90753	1669	87.0	0.95	5	3	0	0	0	0	0			-0.852	-0.157		-1.205		
90753	1669	87.0	0.95	5	4	0	0	0	0	0			-0.852	-0.157		-1.205		-1.161
90812	1728	86.9	0.95	4	3	0	0	0			0		-0.790	-0.077			-0.076	
90812	1728	86.9	0.95	4	4	0	0	0			0		-0.790	-0.077			-0.076	0.000
90849	1765	86.9	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0			-0.859	-0.149	-0.066	0.025		
90865	1779	86.9	0.95	4	3	0	0	0	0.00				-0.859	-0.149	-0.044			
90929	1845	86.8	0.95	5	2	0	0	0					-0.852	-0.157				
90929	1845	86.8	0.95	5	3	0	0	0					-0.852	-0.157				-7.379
90961	1877	86.8	0.95	4	3	0	0	0			0		-0.859	-0.149		-1.216		
90961	1877	86.8	0.95	4	4	0	0	0			0		-0.859	-0.149		-1.216		-1.166
91136	2052	86.7	0.95	4	2	0	0	0					-0.859	-0.149				
91136	2052	86.7	0.95	4	3	0	0	0					-0.859	-0.149				-0.149
92865	3779	85.5	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0		0	-0.906		0.029	0.000	0.000	-1.744
92865	3779	85.5	0.92	3	5	0	0	0	0.00	0	0		-0.906		0.029	0.000	-0.906	-1.744
92881	3797	85.4	0.92	3	3	0	0	0	0.00			0	-0.908		0.000			-0.001
92881	3797	85.4	0.92	3	4	0	0	0	0.00		0		-0.908		0.000		-0.919	-0.001
92884	3800	85.4	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0			-0.923		0.026	-0.028		
92884	3800	85.4	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0			-0.923		0.026	-0.028	-2.366	
92898	3814	85.4	0.92	3	2	0	0	0	0.00				-0.923		-0.027			
92898	3814	85.4	0.92	3	3	0	0	0	0.00				-0.923		-0.027		-0.923	
92998	3914	85.3	0.92	3	2	0	0	0		0			-0.923			-0.038		
92998	3914	85.3	0.92	3	3	0	0	0		0			-0.923			-0.038	-0.923	
92998	3914	85.3	0.92	3	4	0	0	0		0			-0.923			-0.038	-0.923	-1.248
92998	3914	85.3	0.92	3	3	0	0	0		0			-0.923			-0.038	-0.923	-1.248
93178	4094	85.2	0.92	3	1	0	0	0					-0.923					
93178	4094	85.2	0.92	3	2	0	0	0					-0.923				-0.923	
93178	4094	85.2	0.92	3	3	0	0	0					-0.923				-0.923	-0.923
93178	4094	85.2	0.92	3	2	0	0	0					-0.923				-0.923	-0.923
93275	4191	85.1	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0		0	-0.888		0.033	0.000		-1.007
93275	4191	85.1	0.92	4	5	0	0	0	0.00	0	0		-0.888		0.033	0.000	-41.844	-1.007
93275	4191	85.1	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0		0	-0.888		0.033	0.000		-1.007
93275	4191	85.1	0.92	5	5	0	0	0	0.00	0	0		-0.888		0.033	0.000	-41.844	-1.007
93299	4215	85.1	0.92	4	3	0	0	0	0.70			0	-0.890		0.000			-0.002
93299	4215	85.1	0.92	4	4	0	0	0	0.70		0		-0.890		0.000		-0.069	-0.002
93299	4215	85.1	0.92	5	3	0	0	0	0.70			0	-0.890		0.000			-0.002
93299	4215	85.1	0.92	5	4	0	0	0	0.70		0		-0.890		0.000		-0.069	-0.002
93364	4280	85.1	0.92	4	3	0	0	0	0.00	0			-0.921		0.026	-1.303		
93364	4280	85.1	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0			-0.921		0.026	-1.303	-2.247	
93364	4280	85.1	0.92	5	3	0	0	0	0.00	0			-0.921		0.026	-1.303		
93364	4280	85.1	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0			-0.921		0.026	-1.303	-2.247	
93379	4295	85.0	0.92	4	2	0	0	0	0.00				-0.921		-1.290			
93379	4295	85.0	0.92	4	3	0	0	0	0.00				-0.921		-1.290		-43.397	
93379	4295	85.0	0.92	5	2	0	0	0	0.00				-0.921		-1.290			
93379	4295	85.0	0.92	5	3	0	0	0	0.00				-0.921		-1.290		-43.397	
93465	4381	85.0	0.92	4	2	0	0	0		0			-0.921			-0.034		
93465	4381	85.0	0.92	4	3	0	0	0		0			-0.921			-0.034	-43.412	
93465	4381	85.0	0.92	4	3	0	0	0		0			-0.921			-0.034		-1.124
93465	4381	85.0	0.92	4	4	0	0	0		0			-0.921			-0.034	-43.412	-1.124
93465	4381	85.0	0.92	5	2	0	0	0		0			-0.921			-0.034		
93465	4381	85.0	0.92	5	3	0	0	0		0			-0.921			-0.034	-43.412	
93465	4381	85.0	0.92	5	3	0	0	0		0			-0.921			-0.034		-1.124
93465	4381	85.0	0.92	5	4	0	0	0		0			-0.921			-0.034	-43.412	-1.124
95607	4523	84.9	0.92	4	1	0	0	0					-0.921					
95607	4523	84.9	0.92	4	2	0	0	0					-0.921				-43.401	
95607	4523	84.9	0.92	4	2	0	0	0					-0.921					-43.401
95607	4523	84.9	0.92	4	3	0	0	0					-0.921				-43.401	
95607	4523	84.9	0.92	5	1	0	0	0					-0.921					
95607	4523	84.9	0.92	5	2	0	0	0					-0.921				-43.401	
95607	4523	84.9	0.92	5	2	0	0	0					-0.921					-43.401
95607	4523	84.9	0.92	5	3	0	0	0					-0.921				-43.401	-43.401

Tabla D.14: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_05

Estadísticos		P-value							Beta									
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
92678	0	86.4	0.95	5	5	0	0	0	0	0	0	0	-0.741	-0.075	-0.085		-0.002	-34.840
92680	2	86.4	0.95	5	6	0	0	0	0	0.50	0	0	-0.740	-0.075	-0.088	0.004	-0.004	-0.002
92777	99	86.5	0.95	5	4	0	0	0	0	0	0		-0.766	-0.070	-0.128			-36.045
92779	101	86.5	0.95	5	5	0	0	0	0	0.66	0		-0.766	-0.070	-0.126	-0.003	-0.004	
92830	152	86.5	0.95	4	5	0	0	0	0	0	0	0	-0.797	-0.080	-0.082		-0.002	-37.508
92832	154	86.5	0.95	4	6	0	0	0	0	0.38	0	0	-0.797	-0.080	-0.086	0.006	0.000	-0.002
92865	185	86.5	0.95	5	4	0	0	0	0	0	0		-0.825	-0.118	-0.077			-5.550
92865	187	86.5	0.95	5	5	0	0	0	0	0.51	0		-0.822	-0.118	-0.081	0.004		-38.685
92901	223	86.2	0.95	4	4	0	0	0	0	0	0		-0.828	-0.115	-0.078			-0.115
92905	225	86.2	0.95	4	5	0	0	0	0	0.38	0	0	-0.827	-0.115	-0.082	0.006		-38.918
92945	265	86.2	0.95	4	4	0	0	0	0	0	0		-0.829	-0.075	-0.128		-38.984	
92945	267	86.2	0.95	4	5	0	0	0	0	0.75	0		-0.829	-0.075	-0.127	-0.002	0.000	
92999	321	86.2	0.95	5	3	0	0	0	0	0	0		-0.862	-0.117	-0.128			
93001	323	86.2	0.95	5	4	0	0	0	0	0.52	0		-0.862	-0.117	-0.124	-0.004		
93035	357	86.2	0.95	4	3	0	0	0	0	0	0		-0.866	-0.114	-0.128			
93037	359	86.2	0.95	4	4	0	0	0	0.68				-0.866	-0.114	-0.126	-0.003		
93181	503	86.0	0.95	5	4	0	0	0	0.00	0			-0.769	-0.072		0.000	-36.180	
93181	503	86.0	0.95	5	5	0	0	0	0.00	0	0		-0.769	-0.072		0.000	-36.180	-3.367
93203	525	86.0	0.95	3	5	0	0	0	0	0	0		-0.905	-0.225	-0.090		-0.002	-0.905
93205	527	86.0	0.95	3	6	0	0	0	0	0.80	0	0	-0.905	-0.225	-0.092	0.002	0.000	-0.002
93285	607	86.0	0.95	3	4	0	0	0	0	0	0		-0.937	-0.226	-0.131		-0.937	
93287	609	86.0	0.95	3	5	0	0	0	0.43	0	0		-0.937	-0.226	-0.126	-0.005	0.000	
93549	671	85.9	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0	0		-0.831	-0.076		0.000	-39.078	
93549	671	85.9	0.95	4	5	0	0	0	0.00	0	0		-0.831	-0.076		0.000	-39.078	-0.076
93590	712	85.9	0.95	5	3	0	0	0	0.00	0	0		-0.862	-0.118		-1.224		
93590	712	85.9	0.95	5	4	0	0</											

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

AIC	Δ AIC	Estadísticos				P-value							Beta					
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
94368	1690	85.2	0.92	5	4	0	0	0	0	0	0	-0.877	0.000	0.000	0.000	-2.705	-0.002	
94369	1691	85.2	0.92	4	4	0	0	0	0.38	0	0	-0.877	0.006	0.000	0.000	-2.862	-2.862	
94369	1691	85.2	0.92	4	5	0	0	0	0.38	0	0	-0.877	0.006	0.000	0.000	-41.259	-2.862	
94369	1691	85.2	0.92	5	4	0	0	0	0.38	0	0	-0.877	0.006	0.000	0.000	-2.862	-2.862	
94369	1691	85.2	0.92	5	5	0	0	0	0.38	0	0	-0.877	0.006	0.000	0.000	-41.259	-2.862	
94475	1797	85.1	0.92	4	2	0	0	0	0	0	0	-0.913	-1.283					
94475	1797	85.1	0.92	4	3	0	0	0	0	0	0	-0.913	-1.283			-42.956		
94475	1797	85.1	0.92	5	2	0	0	0	0	0	0	-0.913	-1.283					
94475	1797	85.1	0.92	5	3	0	0	0	0	0	0	-0.913	-1.283			-42.956		
94477	1799	85.1	0.92	4	3	0	0	0	0.77	0	0	-0.913	-0.002	-1.296				
94477	1799	85.1	0.92	4	4	0	0	0	0.77	0	0	-0.913	-0.002	-1.296		-4.218		
94477	1799	85.1	0.92	5	3	0	0	0	0.77	0	0	-0.913	-0.002	-1.296				
94477	1799	85.1	0.92	5	4	0	0	0	0.77	0	0	-0.913	-0.002	-1.296		-4.218		
94846	2168	84.8	0.92	4	2	0	0	0	0.00	0	0	-0.914	-0.116					
94846	2168	84.8	0.92	4	3	0	0	0	0.00	0	0	-0.914	-0.116			-43.005		
94846	2168	84.8	0.92	4	3	0	0	0	0.00	0	0	-0.914	-0.116				-3.834	
94846	2168	84.8	0.92	4	4	0	0	0	0.00	0	0	-0.914	-0.116			-43.005	-3.834	
94846	2168	84.8	0.92	5	2	0	0	0	0.00	0	0	-0.914	-0.116					
94846	2168	84.8	0.92	5	3	0	0	0	0.00	0	0	-0.914	-0.116			-43.005		
94846	2168	84.8	0.92	5	3	0	0	0	0.00	0	0	-0.914	-0.116				-3.834	
94846	2168	84.8	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0	0	-0.914	-0.116			-43.005	-3.834	
94945	2267	84.7	0.92	5	3	0	0	0	0	0	0	-0.769	-0.071			-3.532		
94945	2267	84.7	0.92	5	4	0	0	0	0	0	0	-0.769	-0.071			-3.532	-0.004	
95096	2418	84.6	0.92	4	3	0	0	0	0	0	0	-0.830	-0.075			-0.075		
95096	2418	84.6	0.92	4	4	0	0	0	0	0	0	-0.830	-0.075			-0.075	0.000	
95133	2455	84.5	0.92	5	2	0	0	0	0	0	0	-0.862	-0.117					
95133	2455	84.5	0.92	5	3	0	0	0	0	0	0	-0.862	-0.117				-5.492	
95174	2496	84.5	0.92	4	2	0	0	0	0	0	0	-0.867	-0.114					
95174	2496	84.5	0.92	4	3	0	0	0	0	0	0	-0.867	-0.114				-0.115	
95478	2800	84.3	0.92	3	3	0	0	0	0	0	0	-0.937	-0.226			-0.226		
95478	2800	84.3	0.92	3	4	0	0	0	0	0	0	-0.937	-0.226			-0.226	0.000	
95687	3009	84.1	0.92	3	3	0	0	0	0	0	0	-0.874	0.000	0.000		-0.002		
95687	3009	84.1	0.92	3	4	0	0	0	0	0	0	-0.874	0.000	0.000		-2.890	-0.002	
95689	3011	84.1	0.92	3	4	0	0	0	0.47	0	0	-0.873	0.005	0.000		-3.024		
95689	3011	84.1	0.92	3	5	0	0	0	0.47	0	0	-0.873	0.005	0.000		-0.873	-3.024	
95753	3075	84.0	0.92	3	2	0	0	0	0	0	0	-0.853	-0.142					
95753	3075	84.0	0.92	3	3	0	0	0	0	0	0	-0.853	-0.142				-0.142	
95772	3094	84.0	0.92	3	2	0	0	0	0	0	0	-0.907	-0.027					
95772	3094	84.0	0.92	3	3	0	0	0	0	0	0	-0.907	-0.027			-0.907		
95774	3096	84.0	0.92	3	3	0	0	0	0.73	0	0	-0.907	-0.002	-0.027				
95774	3096	84.0	0.92	3	4	0	0	0	0.73	0	0	-0.907	-0.002	-0.027		-4.295		
96131	3453	83.7	0.92	3	2	0	0	0	0.00	0	0	-0.908	-0.118					
96131	3453	83.7	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0	0	-0.908	-0.118			-0.908		
96131	3453	83.7	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0	0	-0.908	-0.118				-3.915	
96131	3453	83.7	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0	0	-0.908	-0.118			-0.908	-3.915	
96448	3770	83.4	0.91	4	1	0	0	0	0	0	0	-0.913						
96448	3770	83.4	0.91	4	2	0	0	0	0	0	0	-0.913				-42.972		
96448	3770	83.4	0.91	4	2	0	0	0	0	0	0	-0.913					-42.972	
96448	3770	83.4	0.91	4	3	0	0	0	0	0	0	-0.913				-42.972	-42.972	
96448	3770	83.4	0.91	5	1	0	0	0	0	0	0	-0.913						
96448	3770	83.4	0.91	5	2	0	0	0	0	0	0	-0.913				-42.972		
96448	3770	83.4	0.91	5	2	0	0	0	0	0	0	-0.913					-42.972	
96448	3770	83.4	0.91	5	3	0	0	0	0	0	0	-0.913				-42.972	-42.972	
97695	5017	82.3	0.91	3	1	0	0	0	0	0	0	-0.907						
97695	5017	82.3	0.91	3	2	0	0	0	0	0	0	-0.907				-0.907		
97695	5017	82.3	0.91	3	2	0	0	0	0	0	0	-0.907					-0.907	
97695	5017	82.3	0.91	3	3	0	0	0	0	0	0	-0.907				-0.907	-0.907	

Tabla D.15: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_07

AIC	Δ AIC	Estadísticos				P-value							Beta					
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
89419	0	86.7	0.95	3	6	0	0	0	0.03	0.00	0	0	-0.892	-0.128	-0.016	0.027	0.000	-0.002
89436	17	86.7	0.95	3	5	0	0	0	0.20	0.00	0	0	-0.895	-0.128	0.006	0.000	-0.002	-0.895
89462	43	86.7	0.95	3	5	0	0	0	0.02	0.00	0	0	-0.861	-0.097	-0.017	0.028	-0.002	-0.861
89480	61	86.7	0.95	3	4	0	0	0	0.20	0.00	0	0	-0.865	-0.097	0.007	0.000	0.000	-0.097
89488	69	86.7	0.95	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.921	-0.128	-0.047	0.021	0.000	
89498	79	86.7	0.95	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.922	-0.129	-0.028	0.000	-0.922	
89533	114	86.7	0.95	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.889	-0.096	-0.048	0.022	-0.922	
89543	124	86.7	0.95	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.922	-0.130	0.000	0.000	-0.922	
89543	124	86.7	0.95	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.922	-0.130	0.000	0.000	-0.922	-0.129
89544	125	86.7	0.95	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.890	-0.097	-0.029			
89591	172	86.6	0.95	3	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.890	-0.097		-0.027		
89591	172	86.6	0.95	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.890	-0.097		-0.027		-0.730
89609	190	86.6	0.95	3	3	0	0	0	0	0	0	-0.923	-0.130			-0.130		
89609	190	86.6	0.95	3	4	0	0	0	0	0	0	-0.923	-0.130			-0.130	0.000	
89658	239	86.6	0.95	3	2	0	0	0	0	0	0	-0.889	-0.097					
89658	239	86.6	0.95	3	3	0	0	0	0	0	0	-0.889	-0.097				-0.097	
89803	384	86.5	0.95	5	6	0	0	0	0.23	0.00	0	0	-0.671	0.021	-0.009	0.053	-0.008	-0.002
89828	409	86.5	0.95	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.673	0.020	0.019	0.000	-0.002	-51.717
89919	500	86.4	0.95	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.699	0.026	-0.049	0.025	-0.008	
89933	514	86.4	0.95	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.699	0.026	-0.026		-32.951	
89978	559	86.3	0.95	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.700	0.025	0.000	0.000	-32.994	1.164
89978	559	86.3	0.95	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.700	0.025	0.000	0.000	-32.994	
90029	610	86.3	0.95	5	3	0	0	0	0	0	0	-0.701	0.025			1.157		
90029	610	86.3	0.95	5	4	0	0	0	0	0	0	-0.701	0.025			1.157	-0.008	
90066	647	86.3	0.95	4	6	0	0	0	0.57	0.00	0	0	-0.765	0.020	-0.004	0.054	0.000	-0.005
90092	673	86.3	0.95	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.767	0.020	0.024		-0.005	-56.122
90208	789	86.2	0.95	4	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	-0.800	0.027	-0.049	0.025	0.000	
90222	803	86.2	0.95															

		Estadísticos				P-value							Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
90655	1236	85.8	0.95	3	2	0	0		0.00				-0.926		-0.028			
90655	1236	85.8	0.95	3	3	0	0		0.00				-0.926		-0.028			-0.926
90705	1286	85.8	0.95	3	2	0	0			0.00			-0.926			-0.021	-0.926	
90705	1286	85.8	0.95	3	3	0	0			0.00			-0.926			-0.021	-0.926	
90705	1286	85.8	0.95	3	3	0	0			0.00			-0.926			-0.021	-0.926	-0.703
90705	1286	85.8	0.95	3	4	0	0			0.00			-0.926			-0.021	-0.926	-0.703
90765	1344	85.8	0.95	3	1	0	0						-0.926					
90765	1344	85.8	0.95	3	2	0	0						-0.926					-0.926
90765	1344	85.8	0.95	3	3	0	0						-0.926					-0.926
90765	1344	85.8	0.95	3	3	0	0						-0.926					-0.926
90783	1364	85.8	0.95	4	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.894	-0.072	-0.045	0.023		
90794	1375	85.8	0.95	4	3	0	0	0	0.00				-0.894	-0.072	-0.025			
90830	1411	85.7	0.95	4	3	0	0	0		0.00			-0.894	-0.073		-1.271		
90830	1411	85.7	0.95	4	4	0	0	0		0.00			-0.894	-0.073		-1.271		-0.605
90830	1411	85.7	0.95	5	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.895	-0.070	-0.044	0.022		
90839	1420	85.7	0.95	5	3	0	0	0	0.00				-0.895	-0.070	-0.024			
90873	1454	85.7	0.95	4	2	0	0	0					-0.894	-0.072				
90873	1454	85.7	0.95	4	3	0	0	0					-0.894	-0.072				-0.072
90874	1455	85.7	0.95	5	3	0	0	0		0.00			-0.895	-0.071		-1.269		
90874	1455	85.7	0.95	5	4	0	0	0		0.00			-0.895	-0.071		-1.269		-0.603
90916	1497	85.7	0.92	5	2	0	0	0					-0.895	-0.071				
90916	1497	85.7	0.92	5	3	0	0	0					-0.895	-0.071				-3.317
91183	1764	85.5	0.92	4	4	0	0		0.82	0.00		0	-0.878		0.056	0.000		0.058
91183	1764	85.5	0.92	4	5	0	0		0.82	0.00	0		-0.878		0.056	0.000	-41.371	0.058
91183	1764	85.5	0.92	5	4	0	0		0.82	0.00		0	-0.878		0.056	0.000		0.058
91183	1764	85.5	0.92	5	5	0	0		0.82	0.00	0		-0.878		0.056	0.000	-41.371	0.058
91212	1793	85.4	0.92	4	3	0	0		0.00			0	-0.880		0.000			-0.003
91212	1793	85.4	0.92	4	4	0	0		0.00		0		-0.880		0.000		1.077	-0.003
91212	1793	85.4	0.92	5	3	0	0		0.00			0	-0.880		0.000			-0.003
91212	1793	85.4	0.92	5	4	0	0		0.00		0		-0.880		0.000		1.077	-0.003
91356	1937	85.3	0.92	4	3	0	0		0.00	0.00			-0.923		0.026	-1.312		
91356	1937	85.3	0.92	4	4	0	0		0.00	0.00			-0.923		0.026	-1.312	-1.633	
91356	1937	85.3	0.92	5	3	0	0		0.00	0.00			-0.923		0.026	-1.312		
91356	1937	85.3	0.92	5	4	0	0		0.00	0.00			-0.923		0.026	-1.312	-1.633	
91371	1952	85.3	0.92	4	2	0	0		0.00				-0.923		-1.297			
91371	1952	85.3	0.92	4	3	0	0		0.00				-0.923		-1.297			-43.500
91371	1952	85.3	0.92	5	2	0	0		0.00				-0.923		-1.297			
91371	1952	85.3	0.92	5	3	0	0		0.00				-0.923		-1.297			-43.500
91409	1990	85.3	0.92	4	2	0	0		0.00				-0.923			-0.018		
91409	1990	85.3	0.92	4	3	0	0		0.00				-0.923			-0.018	-43.506	
91409	1990	85.3	0.92	4	3	0	0		0.00				-0.923			-0.018		-0.581
91409	1990	85.3	0.92	4	4	0	0		0.00				-0.923			-0.018	-43.506	-0.581
91409	1990	85.3	0.92	5	2	0	0		0.00				-0.923			-0.018		
91409	1990	85.3	0.92	5	3	0	0		0.00				-0.923			-0.018	-43.506	
91409	1990	85.3	0.92	5	3	0	0		0.00				-0.923			-0.018	-43.506	-0.581
91409	1990	85.3	0.92	5	4	0	0		0.00				-0.923			-0.018	-43.506	-0.581
91447	2028	85.2	0.92	4	1	0	0						-0.923					
91447	2028	85.2	0.92	4	2	0	0						-0.923					-43.504
91447	2028	85.2	0.92	4	2	0	0						-0.923					-43.504
91447	2028	85.2	0.92	4	3	0	0						-0.923					-43.504
91447	2028	85.2	0.92	5	1	0	0						-0.923					
91447	2028	85.2	0.92	5	2	0	0						-0.923					-43.504
91447	2028	85.2	0.92	5	2	0	0						-0.923					-43.504
91447	2028	85.2	0.92	5	3	0	0						-0.923					-43.504

Tabla D.16: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_10

		Estadísticos				P-value							Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
93576	0	85.2	0.92	5	5	0	0	0.06	0		0	0	-0.746	-0.008	-0.077		-0.002	-35.089
93577	1	85.2	0.92	5	6	0	0	0.06	0	0.52	0	0	-0.745	-0.008	-0.081	0.004	-0.005	-0.002
93600	24	85.1	0.92	4	5	0	0	0.06	0		0	0	-0.798	-0.010	-0.074		-0.002	-37.572
93601	25	85.1	0.92	4	6	0	0	0.06	0	0.44	0	0	-0.798	-0.010	-0.079	0.005	0.000	-0.002
93660	84	85.1	0.92	5	4	0	0	0.37	0		0		-0.771	-0.004	-0.119			-36.266
93662	86	85.1	0.92	5	5	0	0	0.37	0	0.63	0		-0.771	-0.004	-0.116	-0.003	-0.005	
93696	120	85.1	0.92	4	4	0	0	0.35	0				-0.829	-0.005	-0.119			-39.003
93698	122	85.1	0.92	4	5	0	0	0.35	0	0.66	0		-0.829	-0.005	-0.117	-0.003	0.000	
93770	194	85.0	0.92	4	4	0	0	0.00	0			0	-0.847	-0.066	-0.068			-0.066
93771	195	85.0	0.92	4	5	0	0	0.00	0	0.44			-0.847	-0.066	-0.072	0.005		-39.851
93833	257	85.0	0.92	5	4	0	0	0.00	0			0	-0.847	-0.062	-0.068			-2.914
93835	259	85.0	0.92	5	5	0	0	0.00	0	0.52			-0.847	-0.062	-0.072	0.004		-39.846
93895	317	84.9	0.92	4	3	0	0	0.00	0				-0.886	-0.065	-0.119			
93895	319	84.9	0.92	4	4	0	0	0.00	0	0.55			-0.886	-0.065	-0.115	-0.004		
93956	380	84.8	0.92	5	3	0	0	0.00	0				-0.886	-0.061	-0.119			
93958	382	84.8	0.92	5	4	0	0	0.00	0	0.48			-0.886	-0.061	-0.114	-0.005		
93964	388	84.8	0.92	5	4	0	0	0.14	0.00		0		-0.772	-0.007		0.000	-36.349	
93964	388	84.8	0.92	5	5	0	0	0.14	0.00	0			-0.772	-0.007		0.000	-36.349	-0.512
94001	425	84.8	0.92	4	4	0	0	0.18	0.00	0			-0.830	-0.007		0.000	-39.048	
94001	425	84.8	0.92	4	5	0	0	0.18	0.00	0			-0.830	-0.007		0.000	-39.048	-0.007
94187	611	84.7	0.92	4	3	0	0	0.00	0.00				-0.886	-0.066		-1.263		
94187	611	84.7	0.92	4	4	0	0	0.00	0.00				-0.886	-0.066		-1.263		-3.579
94221	645	84.6	0.92	4	3	0	0		0		0		-0.876		0.000			-0.003
94221	645	84.6	0.92	4	4	0	0		0		0		-0.876		0.000		-2.549	-0.003
94221	645	84.6	0.92	5	3	0	0		0		0		-0.876		0.000			-0.003
94221	645	84.6	0.92	5	4	0	0		0		0		-0.876		0.000		-2.549	-0.003
94222	646	84.6	0.92	4	4	0	0		0	0.24		0	-0.876		0.008	0.000		-2.570
94222	646	84.6	0.92	4	5	0	0		0	0.24		0	-0.876		0.008	0.000	-41.211	-2.570
94222	646	84.6	0.92	5	4	0	0		0	0.24		0	-0.876		0.008	0.000		-2.570
94222	646	84.6	0.92	5	5	0	0		0	0.24	0		-0.876		0.008	0.000	-41.211	-2.570
94245	669	84.6	0.92	5	3	0	0	0.00	0.00				-0.885	-0.063		-1.262		
94245	669	84.6	0.92	5	4	0	0	0.00	0.00			</						



D.2 Modelos previos configuraciones individuales

		Estadísticos				P-value							Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
94651	1055	84.3	0.92	4	3	0	0			0.00			-0.913			-0.108	-42.961	
94651	1055	84.3	0.92	4	3	0	0			0.00			-0.913			-0.108	-42.961	-3.551
94651	1055	84.3	0.92	4	4	0	0			0.00			-0.913			-0.108	-42.961	-3.551
94651	1055	84.3	0.92	5	2	0	0			0.00			-0.913			-0.108	-42.961	-3.551
94651	1055	84.3	0.92	5	3	0	0			0.00			-0.913			-0.108	-42.961	-3.551
94651	1055	84.3	0.92	5	3	0	0			0.00			-0.913			-0.108	-42.961	-3.551
94642	1066	84.3	0.92	3	4	0	0	0.00	0			0	-0.836	-0.094	-0.076	-0.108	-42.961	-0.094
94644	1068	84.3	0.92	3	5	0	0	0.00	0	0.75		0	-0.836	-0.094	-0.078	0.002	-42.961	-0.836
94755	1159	84.2	0.92	3	3	0	0	0.00	0				-0.870	-0.094	-0.122		-42.961	
94756	1160	84.2	0.92	3	4	0	0	0.00	0	0.37			-0.870	-0.094	-0.116	-0.006	-42.961	
94889	1313	84.1	0.92	3	4	0	0	0.00	0.00	0.00	0		-0.929	-0.154		0.000	-0.929	
94889	1313	84.1	0.92	3	5	0	0	0.00	0.00	0.00	0		-0.929	-0.154		0.000	-0.929	-0.154
95020	1444	84.0	0.92	3	3	0	0	0.00	0.00	0.00			-0.870	-0.095		-0.026	-42.961	
95020	1444	84.0	0.92	3	4	0	0	0.00	0.00	0.00			-0.870	-0.095		-0.026	-42.961	-3.675
95397	1821	85.7	0.92	5	3	0	0	0.22			0		-0.774	-0.006			-0.275	
95397	1821	85.7	0.92	5	4	0	0	0.22			0		-0.774	-0.006			-0.275	-0.005
95451	1855	85.6	0.92	4	3	0	0	0.24			0		-0.830	-0.006			-0.006	
95451	1855	85.6	0.92	4	4	0	0	0.24			0		-0.830	-0.006			-0.006	0.000
95530	1954	85.5	0.91	3	3	0	0		0			0	-0.872		0.000		-0.002	
95530	1954	85.5	0.91	3	4	0	0		0		0		-0.872		0.000		-2.505	-0.002
95531	1955	85.5	0.91	3	4	0	0		0.32		0		-0.871		0.007	0.000	-2.698	-2.698
95531	1955	85.5	0.91	3	5	0	0		0.32		0		-0.871		0.007	0.000	-0.871	-2.698
95597	2021	85.5	0.91	4	2	0	0	0.00					-0.885	-0.064			-0.064	
95597	2021	85.5	0.91	4	3	0	0	0.00					-0.885	-0.064			-0.064	-0.064
95620	2044	85.5	0.91	3	2	0	0		0				-0.907		-0.027		-0.907	
95620	2044	85.5	0.91	3	3	0	0		0				-0.907		-0.027		-0.907	-0.907
95622	2046	85.5	0.91	3	3	0	0		0.85				-0.907		-0.001	-0.027	-4.000	
95622	2046	85.5	0.91	3	4	0	0		0.85				-0.907		-0.001	-0.027	-4.000	
95649	2073	85.5	0.91	5	2	0	0	0.00					-0.885	-0.061			-2.858	
95649	2073	85.5	0.91	5	3	0	0	0.00					-0.885	-0.061			-2.858	-2.858
95912	2356	85.2	0.91	3	2	0	0		0.00				-0.907			-0.110	-0.907	
95912	2356	85.2	0.91	3	3	0	0		0.00				-0.907			-0.110	-0.907	-0.907
95912	2356	85.2	0.91	3	3	0	0		0.00				-0.907			-0.110	-0.907	-3.637
95912	2356	85.2	0.91	3	4	0	0		0.00				-0.907			-0.110	-0.907	-3.637
95988	2412	85.2	0.91	4	1	0	0						-0.912				-42.915	
95988	2412	85.2	0.91	4	2	0	0						-0.912				-42.915	-42.915
95988	2412	85.2	0.91	4	2	0	0						-0.912				-42.915	-42.915
95988	2412	85.2	0.91	4	3	0	0						-0.912				-42.915	-42.915
95988	2412	85.2	0.91	5	1	0	0						-0.912				-42.915	-42.915
95988	2412	85.2	0.91	5	2	0	0						-0.912				-42.915	-42.915
95988	2412	85.2	0.91	5	2	0	0						-0.912				-42.915	-42.915
96320	2744	82.9	0.91	3	3	0	0	0.00			0		-0.929	-0.152			-0.152	
96320	2744	82.9	0.91	3	4	0	0	0.00			0		-0.929	-0.152			-0.152	0.000
96443	2867	82.8	0.91	3	2	0	0	0.00					-0.870	-0.095			-0.095	
96443	2867	82.8	0.91	3	3	0	0	0.00					-0.870	-0.095			-0.095	-0.095
97245	3669	82.0	0.91	3	1	0	0						-0.906				-0.906	
97245	3669	82.0	0.91	3	2	0	0						-0.906				-0.906	-0.906
97245	3669	82.0	0.91	3	2	0	0						-0.906				-0.906	-0.906
97245	3669	82.0	0.91	3	3	0	0						-0.906				-0.906	-0.906

Tabla D.17: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_102

		Estadísticos				P-value							Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
94307	0	83.8	0.92	5	6	0	0	0	0	0.02	0	0	-0.724	0.032	-0.091	0.016	-0.006	-0.002
94310	5	83.8	0.92	5	5	0	0	0	0	0	0	0	-0.725	0.032	-0.078		-0.002	-34.108
94352	43	83.8	0.92	4	6	0	0	0	0	0.02	0	0	-0.784	0.036	-0.088	0.016	0.000	-0.002
94355	48	83.8	0.92	4	5	0	0	0	0	0	0	0	-0.785	0.036	-0.075		-0.002	-36.951
94369	62	83.8	0.92	5	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.746	0.036	-0.115		-35.105	
94369	62	83.8	0.92	5	5	0	0	0	0	0.17	0	0	-0.746	0.036	-0.124	0.009	-0.006	
94425	118	83.7	0.92	4	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.812	0.041	-0.115		-38.183	
94425	118	83.7	0.92	4	5	0	0	0	0	0.20	0	0	-0.812	0.041	-0.123	0.009	0.000	
94641	334	83.5	0.91	4	5	0	0	0	0	0.02	0	0	-0.850	-0.041	-0.078	0.016		-39.966
94644	337	83.5	0.91	4	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.851	-0.041	-0.065		-0.041	
94682	375	83.5	0.91	5	5	0	0	0	0	0.05	0	0	-0.851	-0.056	-0.078	0.015		-40.020
94685	378	83.5	0.91	5	4	0	0	0	0	0	0	0	-0.852	-0.056	-0.065		-1.682	
94690	383	83.5	0.91	5	4	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.750	0.035		0.000	-35.255	
94690	383	83.5	0.91	5	5	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.750	0.035		0.000	-35.255	1.563
94742	435	83.5	0.91	4	4	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.814	0.038		0.000	-38.273	
94742	435	83.5	0.91	4	5	0	0	0	0	0.00	0	0	-0.814	0.038		0.000	-38.273	0.038
94751	444	83.4	0.91	4	3	0	0	0	0				-0.889	-0.040	-0.114			
94752	445	83.4	0.91	4	4	0	0	0	0	0.34			-0.889	-0.040	-0.120	0.007		
94790	483	83.4	0.91	5	3	0	0	0	0				-0.890	-0.055	-0.114			
94791	484	83.4	0.91	5	4	0	0	0	0	0.36			-0.890	-0.055	-0.120	0.006		
94798	491	83.4	0.91	4	4	0	0	0	0	0.01	0	0	-0.868	0.017	0.000		-2.698	
94798	491	83.4	0.91	4	5	0	0	0	0	0.01	0	0	-0.868	0.017	0.000		-40.811	-2.698
94798	491	83.4	0.91	5	4	0	0	0	0	0.01	0	0	-0.868	0.017	0.000		-2.698	-2.698
94798	491	83.4	0.91	5	5	0	0	0	0	0.01	0	0	-0.868	0.017	0.000		-40.811	-2.698
94802	495	83.4	0.91	4	3	0	0	0	0				-0.869	0.000			-0.002	
94802	495	83.4	0.91	4	4	0	0	0	0		0		-0.869	0.000			-2.229	-0.002
94802	495	83.4	0.91	5	3	0	0	0	0		0		-0.869	0.000			-0.002	-0.002
94802	495	83.4	0.91	5	4	0	0	0	0		0		-0.869	0.000			-2.229	-0.002
94899	592	83.3	0.91	4	2	0	0	0	0				-0.905	-1.278				
94899	592	83.3	0.91	4	3	0	0	0	0				-0.905	-1.278			-42.556	
94899	592	83.3	0.91	5	2	0	0	0	0				-0.905	-1.278			-42.556	-42.556
94899	592	83.3	0.91	5	3	0	0	0	0				-0.905	-1.278			-42.556	-42.556
94900	593	83.3	0.91	4	3	0	0	0	0.23				-0.905	0.008	-1.290			
94900	593	83.3	0.91	4	4	0	0	0	0.23				-0.905	0.008	-1.290		-4.056	
94900	593	83.3	0.91	5	3	0	0	0	0.23				-0.9					

Estadísticos						P-value						Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
95205	896	83.0	0.91	5	3	0	0			0.00			-0.906			-0.102		-3.360
95205	896	83.0	0.91	5	4	0	0			0.00			-0.906			-0.102	-42.587	-3.360
95221	914	83.0	0.91	3	5	0	0	0	0	0.01		0	-0.844	-0.068	-0.093	0.017		-0.844
95225	918	83.0	0.91	3	4	0	0	0	0			0	-0.845	-0.068	-0.079			-0.068
95246	939	83.0	0.91	3	4	0	0	0	0		0		-0.908	-0.102	-0.117		-0.908	
95247	940	83.0	0.91	3	5	0	0	0	0	0.18		0	-0.908	-0.101	-0.125	0.009		0.000
95285	978	83.0	0.91	3	3	0	0	0	0				-0.875	-0.068	-0.117			
95285	978	83.0	0.91	3	4	0	0	0	0	0.15			-0.875	-0.068	-0.126	0.010		
95561	1254	82.7	0.91	3	4	0	0	0	0	0.00	0		-0.910	-0.105		0.000	-0.910	
95561	1254	82.7	0.91	3	5	0	0	0	0	0.00	0		-0.910	-0.105		0.000	-0.910	-0.105
95604	1297	82.7	0.91	3	3	0	0	0	0	0.00			-0.875	-0.069		-0.027		
95604	1297	82.7	0.91	3	4	0	0	0	0	0.00			-0.875	-0.069		-0.027		-3.434
95658	1351	82.6	0.91	3	4	0	0	0	0	0.00		0	-0.870		0.020	0.000		-3.195
95658	1351	82.6	0.91	3	5	0	0	0	0	0.00	0		-0.870		0.020	0.000	-0.870	-3.195
95664	1357	82.6	0.91	3	3	0	0	0	0			0	-0.872		0.000			-0.002
95664	1357	82.6	0.91	3	4	0	0	0	0		0		-0.872		0.000		-2.638	-0.002
95720	1415	82.6	0.91	3	3	0	0	0	0	0.06			-0.901		0.013	-0.027		
95720	1415	82.6	0.91	3	4	0	0	0	0	0.06			-0.901		0.013	-0.027	-4.312	
95721	1414	82.6	0.91	3	2	0	0	0	0				-0.901		-0.027			
95721	1414	82.6	0.91	3	3	0	0	0	0				-0.901		-0.027		-0.901	
95865	1558	82.4	0.91	5	3	0	0	0	0		0		-0.751	0.033			1.565	
95865	1558	82.4	0.91	5	4	0	0	0	0		0		-0.751	0.033			1.565	-0.006
95915	1608	82.4	0.91	4	3	0	0	0	0		0		-0.815	0.038			0.038	
95915	1608	82.4	0.91	4	4	0	0	0	0		0		-0.815	0.038			0.038	0.000
96048	1741	82.3	0.91	3	2	0	0	0	0	0.00			-0.901			-0.104		
96048	1741	82.3	0.91	3	3	0	0	0	0	0.00			-0.901			-0.104	-0.901	
96048	1741	82.3	0.91	3	3	0	0	0	0	0.00			-0.901			-0.104		-3.421
96048	1741	82.3	0.91	3	4	0	0	0	0	0.00			-0.901			-0.104	-0.901	-3.421
96195	1888	82.1	0.91	4	2	0	0	0	0				-0.889	-0.040				
96195	1888	82.1	0.91	4	3	0	0	0	0				-0.889	-0.040				-0.040
96230	1923	82.1	0.91	5	2	0	0	0	0				-0.890	-0.035				
96230	1923	82.1	0.91	5	3	0	0	0	0				-0.890	-0.035				-1.655
96335	2028	82.0	0.91	4	1	0	0	0	0				-0.906					
96335	2028	82.0	0.91	4	2	0	0	0	0				-0.906				-42.587	
96335	2028	82.0	0.91	4	2	0	0	0	0				-0.906					-42.587
96335	2028	82.0	0.91	4	3	0	0	0	0				-0.906				-42.587	-42.587
96335	2028	82.0	0.91	5	1	0	0	0	0				-0.906					
96335	2028	82.0	0.91	5	2	0	0	0	0				-0.906				-42.587	
96335	2028	82.0	0.91	5	2	0	0	0	0				-0.906					-42.587
96335	2028	82.0	0.91	5	3	0	0	0	0				-0.906				-42.587	-42.587
96719	2412	81.6	0.90	3	3	0	0	0	0		0		-0.911	-0.105			-0.105	
96719	2412	81.6	0.90	3	4	0	0	0	0		0		-0.911	-0.105			-0.105	0.000
96761	2454	81.6	0.90	3	2	0	0	0	0				-0.875	-0.069				
96761	2454	81.6	0.90	3	3	0	0	0	0				-0.875	-0.069				-0.068
97171	2864	81.2	0.90	3	1	0	0	0	0				-0.901					
97171	2864	81.2	0.90	3	2	0	0	0	0				-0.901				-0.901	
97171	2864	81.2	0.90	3	2	0	0	0	0				-0.901					-0.901
97171	2864	81.2	0.90	3	3	0	0	0	0				-0.901				-0.901	-0.901

**Tabla D.18:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 050\_20

Estadísticos						P-value						Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
91490	0	84.6	0.92	3	5	0	0	0	0.12	0.00			-0.860	-0.066	-0.012	0.042		-0.860
91492	2	84.6	0.92	3	6	0	0	0	0.12	0.00	0.72	0	-0.861	-0.068	-0.012	0.042	0.000	-0.002
91526	36	84.6	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00		0	-0.865	-0.066	0.022			-0.066
91528	38	84.6	0.92	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0.64	0	-0.865	-0.068	0.022		-0.002	-0.865
91566	76	84.6	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.892	-0.066	-0.047	0.035		
91567	77	84.6	0.92	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0.62		-0.894	-0.068	-0.047	0.034	0.000	
91590	100	84.5	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00			-0.892	-0.066	-0.016			
91591	101	84.5	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0.56		-0.895	-0.069	-0.016		-0.895	
91612	122	84.5	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00			-0.892	-0.066		-0.027		
91612	122	84.5	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.892	-0.066		-0.027		-0.271
91613	123	84.5	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0.54		-0.895	-0.069		0.000	-0.895	
91613	123	84.5	0.92	3	5	0	0	0	0.00	0.00	0.54		-0.895	-0.069		0.000	-0.895	-0.069
91618	128	84.5	0.92	3	2	0	0	0	0				-0.892	-0.066				
91618	128	84.5	0.92	3	3	0	0	0	0				-0.892	-0.066				-0.066
91620	130	84.5	0.92	3	3	0	0	0	0		0.54		-0.895	-0.069			-0.069	
91620	130	84.5	0.92	3	4	0	0	0	0.59	0.00	0.00	0	-0.895	-0.069			-0.069	0.000
91877	387	84.3	0.92	5	6	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0	-0.628	0.070	-0.004	0.047	-0.009	-0.003
91921	431	84.3	0.92	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0	-0.651	0.070	0.035		-0.003	-29.675
91943	453	84.3	0.92	3	4	0	0	0	0.13	0.00	0.00	0	-0.885	0.041	0.000		-0.885	-0.400
91943	453	84.3	0.92	3	5	0	0	0	0.13	0.00	0.00	0	-0.885	0.041	0.000		-0.885	-0.400
91978	488	84.2	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00		0	-0.888	0.000				-0.002
91978	488	84.2	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00	0.00		-0.888	0.000			0.752	-0.002
92000	510	84.2	0.92	5	5	0	0	0	0.00	0.00	0.00		-0.659	0.076	-0.049	0.058	-0.010	
92018	528	84.2	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00			-0.917	0.034	-0.028			
92018	528	84.2	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.917	0.034	-0.028		-1.567	
92029	539	84.2	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0.00	0.00		-0.659	0.076	-0.014		-31.009	
92041	551	84.2	0.92	3	2	0	0	0	0.00	0.00			-0.917		-0.027			
92041	551	84.2	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00			-0.917		-0.027		-0.917	
92048	558	84.2	0.92	5	4	0	0	0	0.05	0.00			-0.660	0.076		0.000	-31.028	
92048	558	84.2	0.92	5	5	0	0	0	0.05	0.00			-0.660	0.076		0.000	-31.028	5.561
92051	561	84.2	0.92	5	3	0	0	0	0.00	0.00			-0.660	0.076			5.561	
92051	561	84.2	0.92	5	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.660	0.076			5.561	-0.010
92062	572	84.2	0.92	3	2	0	0	0	0.00	0.00			-0.917			-0.008		
92062	572	84.2	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00			-0.917			-0.008	-0.917	
92062	572	84.2	0.92	3	3	0	0	0	0.00	0.00			-0.917			-0.008		-0.269
92062	572	84.2	0.92	3	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.917			-0.008	-0.917	-0.269
92068	578	84.2	0.92															

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

AIC	$\Delta$ AIC	Estadísticos				P-value								Beta					
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
92972	1482	83.4	0.91	5	4	0	0	0	0.00			0	-0.840	-0.042	0.056			-1.951	
93087	1597	83.3	0.91	4	4	0	0	0	0.07	0.00		0	-0.857		0.047	0.000		0.484	
93087	1597	83.3	0.91	4	5	0	0	0	0.07	0.00	0.00		-0.857		0.047	0.000	-40.290	0.484	
93087	1597	83.3	0.91	5	4	0	0	0	0.07	0.00		0	-0.857		0.047	0.000		0.484	
93087	1597	83.3	0.91	5	5	0	0	0	0.07	0.00	0.00		-0.857		0.047	0.000	-40.290	0.484	
93150	1640	83.3	0.91	4	3	0	0	0	0.00			0	-0.860		0.000			-0.004	
93150	1640	83.3	0.91	4	4	0	0	0	0.00		0.00		-0.860		0.000		1.802	-0.004	
93150	1640	83.3	0.91	5	3	0	0	0	0.00			0	-0.860		0.000			-0.004	
93150	1640	83.3	0.91	5	4	0	0	0	0.00		0.00		-0.860		0.000		1.802	-0.004	
93153	1643	83.3	0.91	4	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.894	-0.042	-0.045	0.055			
93156	1666	83.2	0.91	4	3	0	0	0	0.00				-0.894	-0.042	-0.013				
93156	1666	83.2	0.91	5	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.895	-0.040	-0.045	0.055			
93173	1683	83.2	0.91	4	3	0	0	0		0.04			-0.894	-0.042		-1.270			
93173	1683	83.2	0.91	4	4	0	0	0		0.04			-0.894	-0.042		-1.270		-0.197	
93175	1685	83.2	0.91	4	2	0	0	0					-0.894	-0.042					
93175	1685	83.2	0.91	4	3	0	0	0					-0.894	-0.042				-0.042	
93178	1688	83.2	0.91	5	3	0	0	0	0.00				-0.894	-0.040	-0.013				
93194	1704	83.2	0.91	5	3	0	0	0		0.04			-0.894	-0.040		-1.269			
93194	1704	83.2	0.91	5	4	0	0	0		0.04			-0.894	-0.040		-1.269		-0.197	
93196	1706	83.2	0.91	5	2	0	0	0					-0.894	-0.040					
93196	1706	83.2	0.91	5	3	0	0	0					-0.894	-0.040				-1.887	
93302	1812	83.1	0.91	4	3	0	0	0	0.00	0.00			-0.911		0.035	-1.294			
93302	1812	83.1	0.91	4	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.911		0.035	-1.294	-1.510		
93302	1812	83.1	0.91	5	3	0	0	0	0.00	0.00			-0.911		0.035	-1.294			
93302	1812	83.1	0.91	5	4	0	0	0	0.00	0.00			-0.911		0.035	-1.294	-1.510		
93325	1835	83.1	0.91	4	2	0	0	0	0.00				-0.911		-1.282				
93325	1835	83.1	0.91	4	3	0	0	0	0.00				-0.911		-1.282		-42.856		
93325	1835	83.1	0.91	5	2	0	0	0	0.00				-0.911		-1.282				
93325	1835	83.1	0.91	5	3	0	0	0	0.00				-0.911		-1.282		-42.856		
93340	1850	83.1	0.91	4	2	0	0	0		0.05			-0.911			-0.006			
93340	1850	83.1	0.91	4	3	0	0	0		0.05			-0.911			-0.006	-42.862		
93340	1850	83.1	0.91	4	3	0	0	0		0.05			-0.911			-0.006		-0.195	
93340	1850	83.1	0.91	4	4	0	0	0		0.05			-0.911			-0.006	-42.862	-0.195	
93340	1850	83.1	0.91	5	2	0	0	0		0.05			-0.911			-0.006			
93340	1850	83.1	0.91	5	3	0	0	0		0.05			-0.911			-0.006	-42.862		
93340	1850	83.1	0.91	5	3	0	0	0		0.05			-0.911			-0.006		-0.195	
93340	1850	83.1	0.91	5	4	0	0	0		0.05			-0.911			-0.006	-42.862	-0.195	
93342	1852	83.1	0.91	4	1	0	0	0					-0.911						
93342	1852	83.1	0.91	4	2	0	0	0					-0.911				-42.861		
93342	1852	83.1	0.91	4	2	0	0	0					-0.911					-42.861	
93342	1852	83.1	0.91	4	3	0	0	0					-0.911				-42.861	-42.861	
93342	1852	83.1	0.91	5	1	0	0	0					-0.911						
93342	1852	83.1	0.91	5	2	0	0	0					-0.911				-42.861		
93342	1852	83.1	0.91	5	2	0	0	0					-0.911					-42.861	
93342	1852	83.1	0.91	5	3	0	0	0					-0.911				-42.861	-42.861	

Tabla D.19: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de velocidad media en la configuración 100\_00

D.2.2 Porcentaje de tiempo en cola

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.0072	0.0026	2.76	0.0398
Vo	-0.0000	0.0000	-1.94	0.1102
log(Vo)	-0.0015	0.0005	-3.19	0.0243

Modelo funcional 2

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-0.0035	0.0049	-0.72	0.5132
Vo	-0.0000	0.0000	-2.76	0.0511
Vo2	0.0000	0.0000	2.37	0.0770
log(Vo)	0.0007	0.0010	0.71	0.5156

Modelo funcional 4

**Tabla D.20:** Modelo lineal de ajuste del parámetro a del HCM 2010

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-0.0011	0.0003	-3.43	0.0140
Vo	-0.0000	0.0000	-11.03	0.0000

Modelo funcional 1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-0.0000	0.0002	-0.11	0.9172
Vo	-0.0000	0.0000	-10.65	0.0001
Vo2	0.0000	0.0000	5.23	0.0034

Modelo funcional 3

Modelo funcional 3

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	1.6380	0.1061	15.44	0.0000
Vo	0.0001	0.0000	2.52	0.0533
log(Vo)	-0.1269	0.0196	-6.46	0.0013

Modelo funcional 2

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	1.3071	0.2517	5.19	0.0066
Vo	-0.0002	0.0002	-0.98	0.3833
Vo2	0.0000	0.0000	1.42	0.2276
log(Vo)	-0.0570	0.0523	-1.09	0.3371

Modelo funcional 4

Modelo funcional 4

**Tabla D.21:** Modelo lineal de ajuste del parámetro b del HCM 2010

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.9546	0.0226	42.16	0.0000
Vo	-0.0001	0.0000	-4.62	0.0036

Modelo funcional 1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	1.0331	0.0135	76.65	0.0000
Vo	-0.0003	0.0000	-9.87	0.0002
Vo2	0.0000	0.0000	7.02	0.0009

Modelo funcional 3

Modelo funcional 3

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.6880	0.0233	29.56	0.0000
Vo	-0.0000	0.0000	-2.23	0.0565

Modelo funcional 1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.7550	0.0155	48.82	0.0000
Vo	-0.0003	0.0000	-6.84	0.0002
Vo2	0.0000	0.0000	5.81	0.0007

Modelo funcional 3

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	1.2132	0.0713	17.01	0.0000
Vo	0.0001	0.0000	4.80	0.0020
log(Vo)	-0.1028	0.0139	-7.42	0.0001

Modelo funcional 2

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	1.0768	0.1471	7.32	0.0003
Vo	-0.0000	0.0001	-0.16	0.8769
Vo2	0.0000	0.0000	1.06	0.3309
log(Vo)	-0.0715	0.0326	-2.19	0.0706

Modelo funcional 4

Tabla D.22: Modelo lineal de ajuste del parámetro a de Maldonado et al.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-4.2786	0.4097	-10.44	0.0000
Vo	-0.0008	0.0001	-6.18	0.0005
log(Vo)	0.8013	0.0796	10.07	0.0000

Modelo funcional 2

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-3.7131	0.8823	-4.21	0.0056
Vo	-0.0003	0.0007	-0.37	0.7266
Vo2	-0.0000	0.0000	-0.73	0.4924
log(Vo)	0.6718	0.1954	3.44	0.0138

Modelo funcional 4

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-0.1828	0.1767	-1.03	0.3311
Vo	0.0004	0.0002	2.54	0.0345

Modelo funcional 1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-0.6905	0.1190	-5.80	0.0007
Vo	0.0022	0.0003	6.90	0.0002
Vo2	-0.0000	0.0000	-5.72	0.0007

Modelo funcional 3

Tabla D.23: Modelo lineal de ajuste del parámetro b de Maldonado et al.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.0002	0.0000	22.83	0.0000
Vo	0.0000	0.0000	3.73	0.0058

Modelo funcional 1

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-0.0002	0.0001	-1.56	0.1697
Vo	-0.0000	0.0000	-3.05	0.0224
Vo2	0.0000	0.0000	3.22	0.0182
log(Vo)	0.0001	0.0000	3.53	0.0124

Modelo funcional 2

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.0001	0.0001	1.72	0.1299
Vo	0.0000	0.0000	0.40	0.7034
log(Vo)	0.0000	0.0000	0.95	0.3738

Modelo funcional 3

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.0001	0.0001	1.72	0.1299
Vo	0.0000	0.0000	0.40	0.7034
log(Vo)	0.0000	0.0000	0.95	0.3738

Modelo funcional 4

**Tabla D.24:** Modelo lineal de ajuste del parámetro c de Maldonado et al.

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

Estadísticos		P-value										Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
117488	0	95.1	0.97	6	6	0	0	0	0.11	0	0.00	0.02	0.691	0.390	-0.007	-0.023	0.004	0.000
117489	1	95.1	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0.00	0	0.692	0.390	0.000	0.000	336.096	0.000
117489	1	95.1	0.97	6	5	0	0	0	0	0	0.00	0	0.692	0.390	0.000	0.000	336.096	188.569
117491	3	95.1	0.97	6	5	0	0	0	0.61	0	0.00	0	0.692	0.390	-0.002	-0.022	0.004	0.000
117520	32	95.1	0.97	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.709	0.394	-0.012	-0.024	0.000	344.577
117524	36	95.1	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0.00	0	0.692	0.390	-0.022	-0.022	336.171	0.000
117524	36	95.1	0.97	6	5	0	0	0	0.00	0	0.00	0.14	0.691	0.391	-0.026	-0.026	0.000	335.853
117540	52	95.1	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.718	0.394	0.000	10.468	0.000	0.000
117540	52	95.1	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0.718	0.394	0.000	10.468	0.000	-0.800
117542	54	95.1	0.97	6	4	0	0	0	0.56	0	0	0	0.718	0.394	-0.002	-0.022	0.000	0.000
117559	71	95.1	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.711	0.394	-0.032	-0.032	0.000	190.482
117575	87	95.1	0.97	6	3	0	0	0	0.00	0	0.00	0	0.718	0.394	-0.022	-0.022	0.000	0.000
117709	221	95.1	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0.00	0	0.692	0.390	0.000	0.000	188.525	0.000
117709	221	95.1	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0.00	0	0.692	0.390	-0.022	-0.022	188.525	0.004
117760	272	95.0	0.97	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.718	0.394	0.000	0.000	0.000	0.000
117760	272	95.0	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.718	0.394	0.000	0.000	0.000	190.582
140711	23223	83.4	0.91	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.913	-0.046	13.301	0.688	0.656	0.656
140711	23223	83.4	0.91	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.913	-0.046	13.301	0.688	0.656	0.656
140713	23225	83.4	0.91	6	4	0	0	0	0.01	0	0	0.68	0.911	-0.047	0.000	0.000	442.581	0.656
140713	23225	83.4	0.91	6	5	0	0	0	0.01	0	0	0	0.911	-0.047	0.000	0.000	442.581	0.656
140718	23230	83.4	0.91	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.913	-0.028	-0.028	-0.028	443.303	-0.940
140718	23230	83.4	0.91	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.913	-0.028	-0.028	-0.028	443.303	-0.940
140718	23230	83.4	0.91	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.913	-0.028	-0.028	-0.028	443.303	-0.940
140718	23230	83.4	0.91	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0.913	-0.028	-0.028	-0.028	443.303	-0.940
140755	23267	83.3	0.91	6	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.913	13.185	0.000	0.000	443.369	0.000
140755	23267	83.3	0.91	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.913	13.185	0.000	0.000	443.369	0.000
140757	23269	83.3	0.91	6	3	0	0	0	0.00	0	0.69	0.69	0.914	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140757	23269	83.3	0.91	6	4	0	0	0	0.00	0	0.69	0.69	0.914	0.000	0.000	0.000	-0.668	0.000
140806	23518	83.3	0.91	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0.913	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140806	23518	83.3	0.91	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.913	0.000	0.000	0.000	443.333	443.333
140806	23518	83.3	0.91	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.913	0.000	0.000	0.000	443.333	443.333
140806	23518	83.3	0.91	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.913	0.000	0.000	0.000	443.333	443.333

Tabla D.25: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 000\_01

Estadísticos		P-value										Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
112618	0	95.7	0.98	6	6	0	0	0	0.00	0	0	0.06	0.863	0.277	-0.028	-0.025	-0.009	0.000
112620	2	95.7	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	0.864	0.277	-0.024	-0.024	-0.008	0.000
112663	45	95.7	0.98	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0.864	0.277	0.000	0.000	418.469	0.000
112663	45	95.7	0.98	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0.864	0.277	0.000	0.000	418.469	133.440
112664	46	95.7	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.863	0.277	-0.045	-0.045	418.123	0.000
112665	47	95.7	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0.29	0.863	0.278	-0.048	-0.048	0.000	417.915
112804	186	95.7	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.823	0.270	-0.017	-0.022	398.500	0.000
112816	198	95.7	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.817	0.270	-0.024	-0.023	0.000	0.000
112840	222	95.6	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.824	0.270	-0.035	-0.035	130.334	0.000
112857	239	95.6	0.98	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.817	0.270	-0.045	-0.045	0.000	0.000
112860	242	95.6	0.98	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.817	0.270	0.000	11.857	0.000	0.000
112860	242	95.6	0.98	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0.817	0.270	0.000	11.857	0.000	-1.501
113550	932	95.5	0.98	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.862	0.277	0.000	0.000	133.542	0.000
113550	932	95.5	0.98	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0.862	0.277	0.000	0.000	133.542	-0.008
113726	1108	95.4	0.98	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.816	0.270	0.000	0.000	0.000	0.000
113726	1108	95.4	0.98	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.816	0.270	0.000	0.000	0.000	130.292
128520	15902	90.1	0.95	6	4	0	0	0	0.09	0	0	0.00	0.962	-0.058	0.000	0.000	0.348	0.348
128520	15902	90.1	0.95	6	5	0	0	0	0.09	0	0	0	0.962	-0.058	0.000	0.000	465.956	0.348
128549	15951	90.1	0.95	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.948	-0.047	-0.047	-0.047	0.000	0.000
128549	15951	90.1	0.95	6	3	0	0	0	0.26	0	0	0	0.948	-0.041	13.765	13.765	459.190	0.000
128549	15951	90.1	0.95	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.948	-0.047	-0.047	-0.047	459.190	-1.565
128549	15951	90.1	0.95	6	4	0	0	0	0.26	0	0	0	0.948	-0.041	13.765	-0.200	-0.200	0.000
128549	15951	90.1	0.95	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.948	-0.047	-0.047	-0.047	459.190	-1.565
128549	15951	90.1	0.95	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0.948	-0.047	-0.047	-0.047	459.190	-1.565
128569	15951	90.1	0.95	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.964	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001
128569	15951	90.1	0.95	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.964	0.000	0.000	0.000	-0.727	-0.001
128608	15990	90.1	0.95	6	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.948	13.673	0.000	0.000	0.000	0.000
128608	15990	90.1	0.95	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.948	13.673	0.000	0.000	459.217	0.000
128967	16349	89.9	0.95	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0.948	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
128967	16349	89.9	0.95	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.948	0.000	0.000	0.000	459.082	459.082
128967	16349	89.9	0.95	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.948	0.000	0.000	0.000	459.082	459.082
128967	16349	89.9	0.95	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.948	0.000	0.000	0.000	459.082	459.082

Tabla D.26: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_01

Estadísticos		P-value										Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
113918	0	95.6	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0.01	0.00	0.53	0.804	0.264	-0.024	-0.009	0.005	0.000
113919	1	95.6	0.98	6	6	0	0	0	0.00	0.01	0.00	0.53	0.804	0.265	-0.022	-0.009	0.005	0.000
113922	4	95.6	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0	0.804	0.264	-0.052	-0.052	388.598	0.000
113924	6	95.6	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.34	0.804	0.265	-0.050	-0.050	0.000	388.787
113939	21	95.6	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0.01	0.00	0	0.820	0.266	-0.024	-0.009	0.000	0.000
113939	21	95.6	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0.01	0.00	0.20	0.818	0.266	-0.026	-0.010	395.564	0.000
113944	26	95.6	0.98	6	3	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0	0.820	0.266	-0.052	-0.052	0.	

		Estadísticos					P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
129188	15270	90.1	0.95	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.949	0.227	-0.060	-0.033	458.662	-1.081
129196	15278	90.1	0.95	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.955	0.000	0.000	-0.033	458.662	0.000
129200	15282	90.1	0.95	6	2	0	0	0	0.00	0	0.01	0.01	0.955	0.000	0.000	-0.781	0.000	0.000
129200	15282	90.1	0.95	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.949	13.689	13.689	0.000	458.704	0.000
129390	15472	90.0	0.95	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0.949	13.689	13.689	0.000	458.704	0.000
129390	15472	90.0	0.95	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.949	13.689	13.689	0.000	458.704	0.000
129390	15472	90.0	0.95	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.949	13.689	13.689	0.000	458.704	0.000
129390	15472	90.0	0.95	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.949	13.689	13.689	0.000	458.704	0.000
129390	15472	90.0	0.95	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.949	13.689	13.689	0.000	458.704	0.000

**Tabla D.27:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_012

		Estadísticos					P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
112697	0	95.0	0.97	6	6	0	0	0	0.00	0	0	0	0.946	0.227	-0.060	-0.031	-0.018	0.001
112735	38	95.0	0.97	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	0.948	0.225	-0.045	-0.029	-0.016	0.001
112761	64	95.0	0.97	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	0.946	0.227	-0.085	-0.029	-0.016	458.785
112790	93	95.0	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.948	0.225	-0.070	-0.029	-0.016	459.839
112873	176	95.0	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.948	0.224	-0.070	0.000	459.454	107.867
112873	176	95.0	0.97	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	0.948	0.224	-0.070	0.000	459.454	107.867
113409	712	94.8	0.97	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	0.860	0.210	-0.054	-0.028	417.075	417.075
113428	731	94.8	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.852	0.211	-0.043	-0.029	417.075	417.075
113458	761	94.8	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.861	0.211	-0.057	-0.029	417.075	417.075
113483	786	94.8	0.97	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.852	0.211	-0.070	-0.029	417.075	417.075
113553	856	94.8	0.97	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.852	0.210	-0.070	12.442	417.075	417.075
113553	856	94.8	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.852	0.210	-0.070	12.442	417.075	417.075
114587	1890	94.5	0.97	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.945	0.225	-0.043	-0.029	108.220	-2.266
114587	1890	94.5	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.945	0.225	-0.043	-0.029	108.220	-2.266
115180	2483	94.3	0.97	6	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.851	0.211	-0.057	-0.029	101.508	101.508
115180	2483	94.3	0.97	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.851	0.211	-0.057	-0.029	101.508	101.508
123010	10313	91.4	0.96	6	4	0	0	0	0.02	0	0	0	0.967	0.227	-0.042	0.000	468.869	-0.426
123010	10313	91.4	0.96	6	5	0	0	0	0.02	0	0	0	0.967	0.227	-0.042	0.000	468.869	-0.426
123042	10345	91.4	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.954	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
123042	10345	91.4	0.96	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.954	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
123074	10377	91.4	0.96	6	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
123074	10377	91.4	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
123074	10377	91.4	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
123074	10377	91.4	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
123074	10377	91.4	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
123074	10377	91.4	0.96	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
123080	10383	91.4	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.969	0.227	-0.042	0.000	468.869	-0.001
123080	10383	91.4	0.96	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.969	0.227	-0.042	0.000	468.869	-0.001
123122	10425	91.4	0.96	6	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.954	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
123122	10425	91.4	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.954	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
124152	11455	90.9	0.95	6	1	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
124152	11455	90.9	0.95	6	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
124152	11455	90.9	0.95	6	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
124152	11455	90.9	0.95	6	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869
124152	11455	90.9	0.95	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.225	-0.044	13.927	468.869	468.869

**Tabla D.28:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_013

		Estadísticos					P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
112817	0	95.6	0.98	6	6	0	0	0	0.00	0	0	0	0.871	0.269	-0.033	-0.016	-0.009	0.000
112817	0	95.6	0.98	6	6	0	0	0	0.00	0	0	0.19	0.871	0.269	-0.036	-0.017	-0.009	0.000
112835	18	95.6	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.871	0.269	-0.048	-0.017	420.862	0.000
112836	19	95.6	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0.43	0.871	0.269	-0.050	-0.017	420.862	420.723
112899	82	95.6	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.871	0.268	-0.050	0.000	420.552	128.925
112899	82	95.6	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	0.871	0.268	-0.050	0.000	420.552	128.925
113020	205	95.6	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.829	0.261	-0.023	-0.015	400.150	400.150
113034	217	95.6	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.829	0.261	-0.035	-0.015	400.150	125.632
113040	223	95.6	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.821	0.261	-0.032	-0.016	400.150	125.632
113058	241	95.6	0.98	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.821	0.262	-0.047	-0.016	400.150	125.632
113116	299	95.6	0.98	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.821	0.261	-0.047	11.919	400.150	400.150
113116	299	95.6	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.821	0.261	-0.047	11.919	400.150	400.150
113800	983	95.4	0.98	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.868	0.269	-0.048	-0.017	129.058	-1.517
113800	983	95.4	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.868	0.269	-0.048	-0.017	129.058	-1.517
113989	1172	95.3	0.98	6	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.821	0.262	-0.048	-0.017	129.058	-0.008
113989	1172	95.3	0.98	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.821	0.262	-0.048	-0.017	129.058	-0.008
127801	14984	90.4	0.95	6	4	0	0	0	0.87	0	0	0.00	0.964	0.269	-0.028	0.000	465.644	-0.034
127801	14984	90.4	0.95	6	5	0	0	0	0.87	0	0	0	0.964	0.269	-0.028	0.000	465.644	-0.034
127826	15009	90.4	0.95	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.966	0.269	-0.028	0.000	465.644	-0.001
127826	15009	90.4	0.95	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.966	0.269	-0.028	0.000	465.644	-0.001
127835	15018	90.4	0.95	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.950	0.269	-0.032	13.790	465.644	-0.001
127835	15018	90.4	0.95	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.950	0.269	-0.032	13.790	465.644	-0.001
127844	15027	90.4	0.95	6	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.950	0.269	-0.032	13.790	465.644	-0.001
127844	15027	90.4	0.95	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.950	0.269	-0.032	13.790	465.644	-0.001
127844	15027	90.4	0.95	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.950	0.269	-0.032	13.790	465.644	-0.001
127844	15027	90.4	0.95	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.950	0.269	-0.032	13.790	4	



D.2 Modelos previos configuraciones individuales

Estadísticos		P-value						Beta										
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
110285	27	95.8	0.98	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0.946	0.236	0.000	0.000	457.638	113.646
110285	27	95.8	0.98	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0.946	0.236	0.000	0.000	457.638	-0.001
110503	45	95.8	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	0.948	0.235	-0.023	-0.001	458.573	457.782
110526	68	95.8	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.946	0.237	-0.036	-0.001	457.782	425.581
110875	617	95.6	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	0.876	0.222	0.018	-0.020	113.679	113.679
110887	629	95.6	0.98	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.945	0.236	0.000	0.000	113.679	-0.016
110887	629	95.6	0.98	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0.945	0.236	0.000	0.000	113.679	-0.016
110905	647	95.6	0.98	6	4	0	0	0	0.62	0	0	0	0.877	0.222	0.001	0.001	106.685	106.685
111108	850	95.6	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.850	0.222	-0.011	-0.026		
111116	858	95.6	0.98	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.850	0.222	0.000	0.000	12.328	12.328
111116	858	95.6	0.98	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0.850	0.222	0.000	0.000	12.328	-1.206
111160	902	95.6	0.98	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.850	0.223	-0.035	-0.035		
111673	1415	95.5	0.98	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.850	0.222	0.000	0.000		
111673	1415	95.5	0.98	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.850	0.222	0.000	0.000	107.004	107.004
122803	12545	91.9	0.96	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.988	-0.028	0.000	0.000	1.154	1.154
122803	12545	91.9	0.96	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	0.988	-0.028	0.000	0.000	477.994	477.994
122836	12578	91.9	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.990	0.000	0.000	0.000	-0.002	-0.002
122836	12578	91.9	0.96	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.990	0.000	0.000	0.000	0.346	-0.002
122988	12730	91.8	0.96	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.958	-0.037	-0.037	-0.037		
122988	12730	91.8	0.96	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.958	-0.037	-0.037	-0.037	463.151	463.151
122988	12730	91.8	0.96	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.958	-0.037	-0.037	-0.037	-1.245	-1.245
122988	12730	91.8	0.96	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0.958	-0.037	-0.037	-0.037	463.151	463.151
122990	12732	91.8	0.96	6	3	0	0	0	0.73	0	0	0	0.958	-0.035	13.883	13.883		
122990	12732	91.8	0.96	6	4	0	0	0	0.73	0	0	0	0.958	-0.035	13.883	13.883	-0.057	-0.057
123042	12784	91.8	0.96	6	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.958	13.758	13.758	13.758		
123042	12784	91.8	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.958	13.758	13.758	13.758	463.259	463.259
123309	13051	91.7	0.96	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0.957	0	0	0		
123309	13051	91.7	0.96	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.957	0	0	0	463.069	463.069
123309	13051	91.7	0.96	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.957	0	0	0	463.069	463.069
123309	13051	91.7	0.96	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.957	0	0	0	463.069	463.069

Tabla D.30: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_022

Estadísticos		P-value						Beta										
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
111074	0	96.0	0.98	6	6	0	0	0	0.99	0.00	0	0	0.951	0.240	0.000	-0.012	-0.015	-0.001
111085	11	96.0	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.951	0.241	-0.010	-0.010	-0.001	461.187
111130	56	96.0	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.948	0.242	-0.015	-0.015	-0.017	-0.017
111148	74	96.0	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.948	0.243	-0.029	-0.029	459.847	459.847
111148	74	96.0	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.948	0.242	-0.001	-0.001	459.823	459.823
111148	74	96.0	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	0.948	0.242	-0.001	-0.001	459.823	116.264
111539	465	95.9	0.98	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.947	0.242	0.000	0.000	116.341	116.341
111539	465	95.9	0.98	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0.947	0.242	0.000	0.000	116.341	-0.017
111721	647	95.9	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0.02	0	0	0.878	0.227	0.021	-0.008	425.913	425.913
111725	651	95.9	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.879	0.227	0.014	-0.008	109.054	109.054
112075	1001	95.8	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.848	0.228	-0.015	-0.015		
112090	1016	95.8	0.98	6	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.848	0.228	0.000	0.000	12.442	12.442
112090	1016	95.8	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.848	0.228	0.000	0.000	12.442	-0.926
112091	1017	95.8	0.98	6	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.848	0.228	-0.028	-0.028		
112443	1369	95.7	0.98	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.848	0.228	0.000	0.000		
112443	1369	95.7	0.98	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.848	0.228	0.000	0.000	109.415	109.415
124561	13487	91.9	0.96	6	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.993	-0.020	0.000	0.000	1.344	1.344
124561	13487	91.9	0.96	6	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.993	-0.020	0.000	0.000	481.537	481.537
124577	13503	91.9	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.994	0.000	0.000	0.000	-0.003	-0.003
124577	13503	91.9	0.96	6	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.994	0.000	0.000	0.000	0.768	-0.003
124806	13732	91.8	0.96	6	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.958	-0.030	-0.030	-0.030		
124806	13732	91.8	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.958	-0.030	-0.030	-0.030	464.485	464.485
124806	13732	91.8	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.958	-0.030	-0.030	-0.030	-0.990	-0.990
124806	13732	91.8	0.96	6	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.958	-0.030	-0.030	-0.030	464.485	464.485
124807	13733	91.8	0.96	6	3	0	0	0	0.76	0.00	0	0	0.958	-0.028	14.057	14.057		
124807	13733	91.8	0.96	6	4	0	0	0	0.76	0.00	0	0	0.958	-0.028	14.057	14.057	-0.049	-0.049
124840	13766	91.8	0.96	6	2	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.958	13.850	13.850	13.850		
124840	13766	91.8	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.958	13.850	13.850	13.850	464.571	464.571
125013	13939	91.7	0.96	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0.958	0	0	0		
125013	13939	91.7	0.96	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.958	0	0	0	464.477	464.477
125013	13939	91.7	0.96	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.958	0	0	0	464.477	464.477
125013	13939	91.7	0.96	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.958	0	0	0	464.477	464.477

Tabla D.31: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_023

Estadísticos		P-value						Beta										
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
116115	0	94.0	0.97	6	5	0	0	0	0.00	0.69	0	0	1.075	0.141	-0.026	-0.002	-0.001	520.352
116117	2	94.0	0.97	6	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0	1.075	0.141	-0.024	-0.002	-0.027	-0.001
116165	50	94.0	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	1.072	0.143	-0.047	-0.047	518.772	518.772
116165	50	94.0	0.97	6	5	0	0	0	0.00	0.25	0	0	1.072	0.143	-0.042	-0.042	-0.029	-0.029
116261	146	93.9	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	1.071	0.142	-0.001	-0.001	518.620	518.620
116261	146	93.9	0.97	6	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	1.071	0.142	-0.001	-0.001	518.620	68.587
116839	724	93.7	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0	1.070	0.143	0.000	0.000	68.832	68.832
116839	724	93.7	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0	1.070	0.143	0.000	0.000	68.832	-0.029
117401	1286	93.6	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.948	0.117	0.016	0.016	56.350	56.350
117402	1287	93.6	0.97	6	5	0	0	0	0.01	0.41	0	0	0.948	0.117	0.013	0.004	459.058	459.058
117894	1779	93.4	0.97	6														

Estadísticos							P-value						Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar		coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
120793	4678	92.3	0.96	6	3		0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.960			-0.044	464.679	
120793	4678	92.3	0.96	6	3		0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.960			-0.044	464.679	-1.460
120793	4678	92.3	0.96	6	4		0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.960			-0.044	464.679	-1.460
121262	5147	92.1	0.96	6	1		0	0	0	0	0	0	0	0.960					
121262	5147	92.1	0.96	6	2		0	0	0	0	0	0	0	0.960				464.669	
121262	5147	92.1	0.96	6	2		0	0	0	0	0	0	0	0.960					464.669
121262	5147	92.1	0.96	6	3		0	0	0	0	0	0	0	0.960				464.669	464.669

Tabla D.32: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_024

Estadísticos							P-value						Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar		coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
109831	0	96.0	0.98	6	6		0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.974	0.247	-0.015	-0.012	-0.021	-0.001
109841	0	96.0	0.98	6	5		0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.974	0.248	-0.025		-0.001	473.210
109850	19	96.0	0.98	6	5		0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.972	0.249	-0.024	-0.014	-0.022	
109863	32	96.0	0.98	6	4		0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.972	0.249	-0.037		472.325	
109897	66	96.0	0.98	6	4		0	0	0	0	0.00	0	0	0.973	0.248		-0.001	472.560	
109897	66	96.0	0.98	6	5		0	0	0	0	0.00	0	0	0.973	0.248		-0.001	472.560	119.291
110500	669	95.9	0.98	6	3		0	0	0	0	0	0	0	0.971	0.249			119.497	
110500	669	95.9	0.98	6	4		0	0	0	0	0	0	0	0.971	0.249			119.497	-0.021
110965	1154	95.8	0.98	6	4		0	0	0	0.01			0	0.877	0.230	0.007			110.362
110965	1154	95.8	0.98	6	5		0	0	0	0.00	0.10		0	0.876	0.229	0.012	-0.006		425.760
111311	1480	95.7	0.98	6	4		0	0	0	0.00	0.00			0.846	0.230	-0.025	-0.012		
111319	1488	95.7	0.98	6	3		0	0	0	0.00	0.00			0.846	0.230	-0.036			
111358	1527	95.7	0.98	6	3		0	0	0	0	0.00			0.846	0.230		12.426		
111358	1527	95.7	0.98	6	4		0	0	0	0	0.00			0.846	0.230		12.426		
111880	2049	95.5	0.98	6	2		0	0	0	0	0			0.845	0.230				-1.147
111880	2049	95.5	0.98	6	3		0	0	0	0	0			0.845	0.230				110.714
123747	13916	91.7	0.96	6	4		0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.991		-0.025	0.000		1.216
123747	13916	91.7	0.96	6	5		0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.991		-0.025	0.000	481.631	1.216
123771	13940	91.7	0.96	6	3		0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.992		0.000			-0.003
123771	13940	91.7	0.96	6	4		0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.992		0.000		0.479	-0.003
123981	14150	91.6	0.96	6	2		0	0	0	0	0.00			0.957			-0.038		
123981	14150	91.6	0.96	6	3		0	0	0	0.21	0.00			0.957		-0.032	14.053		
123981	14150	91.6	0.96	6	3		0	0	0	0	0.00			0.957			-0.038	464.706	
123981	14150	91.6	0.96	6	4		0	0	0	0.21	0.00			0.957		-0.032	14.053	-0.214	
123981	14150	91.6	0.96	6	3		0	0	0	0	0.00			0.957			-0.038		-1.258
123981	14150	91.6	0.96	6	4		0	0	0	0	0.00			0.957			-0.038	464.706	-1.258
124020	14189	91.6	0.96	6	2		0	0	0	0.00	0.00			0.957		13.829			
124020	14189	91.6	0.96	6	3		0	0	0	0.00	0.00			0.957		13.829		464.801	
124306	14475	91.5	0.96	6	1		0	0	0	0	0			0.956					
124306	14475	91.5	0.96	6	2		0	0	0	0	0			0.956				464.675	
124306	14475	91.5	0.96	6	2		0	0	0	0	0			0.956					464.675
124306	14475	91.5	0.96	6	3		0	0	0	0	0			0.956				464.675	464.675

Tabla D.33: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_025

Estadísticos							P-value						Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar		coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
114749	0	94.1	0.97	6	6		0	0	0	0	0.00	0	0	1.097	0.117	-0.021	-0.016	-0.029	-0.001
114761	12	94.1	0.97	6	5		0	0	0	0	0.00	0	0	1.097	0.117	-0.034		-0.001	529.883
114781	32	94.1	0.97	6	5		0	0	0	0	0.00	0	0	1.095	0.119	-0.036	-0.019	-0.030	
114799	50	94.1	0.97	6	4		0	0	0	0	0.00	0	0	1.095	0.119	-0.053		528.645	
114853	104	94.0	0.97	6	4		0	0	0	0	0.00	0	0	1.094	0.118		-0.001	528.257	
114853	104	94.0	0.97	6	5		0	0	0	0	0.00	0	0	1.094	0.118		-0.001	528.257	56.964
115671	922	93.8	0.97	6	3		0	0	0	0	0	0	0	1.093	0.119			57.201	
115671	922	93.8	0.97	6	4		0	0	0	0	0	0	0	1.093	0.119			57.201	-0.030
116250	1501	93.6	0.97	6	5		0	0	0	0	0.02		0	0.963	0.091	0.021	-0.010		464.854
116253	1504	93.6	0.97	6	4		0	0	0	0	0		0	0.963	0.091	0.012			44.074
116753	2004	93.4	0.97	6	4		0	0	0	0	0.00			0.917	0.092	-0.032	-0.021		
116774	2025	93.4	0.97	6	3		0	0	0	0	0			0.917	0.093	-0.051			
116805	2056	93.4	0.97	6	3		0	0	0	0	0.00			0.917	0.092		13.327		
116805	2056	93.4	0.97	6	4		0	0	0	0	0.00			0.917	0.092		13.327		-1.670
117522	2773	93.2	0.96	6	2		0	0	0	0	0			0.917	0.093				
117522	2773	93.2	0.96	6	3		0	0	0	0	0			0.917	0.093				44.619
118067	3318	93.0	0.96	6	4		0	0	0	0	0.00		0	1.009		-0.016	0.000		0.953
118067	3318	93.0	0.96	6	5		0	0	0	0	0.00	0	0	1.009		-0.016	0.000	487.078	0.953
118077	3328	93.0	0.96	6	3		0	0	0	0	0		0	1.010		0.000			-0.003
118077	3328	93.0	0.96	6	4		0	0	0	0	0		0	1.010		0.000		0.511	-0.003
118567	3818	92.8	0.96	6	3		0	0	0	0	0.00			0.962		-0.027	13.974		
118567	3818	92.8	0.96	6	4		0	0	0	0	0.00			0.962		-0.027	13.974	-0.885	
118599	3850	92.8	0.96	6	2		0	0	0	0	0.00			0.962			-0.051		
118599	3850	92.8	0.96	6	3		0	0	0	0	0.00			0.962			-0.051	464.404	
118599	3850	92.8	0.96	6	3		0	0	0	0	0.00			0.962			-0.051		-1.700
118599	3850	92.8	0.96	6	4		0	0	0	0	0.00			0.962			-0.051	464.404	-1.700
118600	3851	92.8	0.96	6	2		0	0	0	0	0			0.962		13.914			
118600	3851	92.8	0.96	6	3		0	0	0	0	0			0.962		13.914		464.568	
119276	4527	92.5	0.96	6	1		0	0	0	0	0			0.962					
119276	4527	92.5	0.96	6	2		0	0	0	0	0			0.962				464.345	
119276	4527	92.5	0.96	6	2		0	0	0	0	0			0.962					464.345
119276	4527	92.5	0.96	6	3		0	0	0	0	0			0.962				464.345	464.345

Tabla D.34: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_026

Estadísticos							P-value						Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar		coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
113191	0	95.4	0.98	6	6		0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.891	0.265	-0.028	-0.034	-0.012	0.000
113199	8	95.4	0.98	6	5		0	0	0	0.00	0	0	0	0.892	0.264	-0.021	-0.033	-0.011	
113230	39	95.4	0.98	6	4		0	0	0	0	0	0	0	0.892	0.264		0.000	432.895	
113230	39	95.4	0.98	6	5		0	0	0	0	0	0	0	0.892	0.264		0.000	432.895	127.297

Indicadores del

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
113271	80	95.4	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0.02	0.890	0.265	-0.057		0.000	431.882
113275	84	95.4	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0		0.891	0.265	-0.051		432.359	
113534	345	95.3	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0.00		0.854	0.255	-0.013	-0.030		404.501
113550	359	95.3	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0		0.826	0.255	-0.022	-0.051		
113583	392	95.3	0.98	6	3	0	0	0					0.826	0.255		12.092		
113583	392	95.3	0.98	6	4	0	0	0		0			0.826	0.255		12.092		-1.710
113596	405	95.3	0.98	6	4	0	0	0	0.00		0.00		0.855	0.255	-0.039			122.999
113617	426	95.3	0.98	6	3	0	0	0	0.00				0.826	0.255	-0.051			
114533	1142	95.2	0.97	6	3	0	0	0			0		0.890	0.265			127.516	
114533	1142	95.2	0.97	6	4	0	0	0			0		0.890	0.265			127.516	-0.011
114644	1453	95.1	0.97	6	2	0	0	0					0.826	0.255				
114644	1453	95.1	0.97	6	3	0	0	0					0.826	0.255				123.090
127470	14279	90.4	0.95	6	4	0	0	0	0.07	0		0.00	0.965		-0.047	0.000		0.375
127470	14279	90.4	0.95	6	5	0	0	0	0.07	0	0		0.965		-0.047	0.000	467.027	0.375
127498	14307	90.4	0.95	6	2	0	0	0					0.949			-0.055		
127498	14307	90.4	0.95	6	3	0	0	0					0.949			-0.055	460.443	
127498	14307	90.4	0.95	6	3	0	0	0					0.949			-0.055		-1.808
127498	14307	90.4	0.95	6	4	0	0	0					0.949			-0.055	460.443	-1.808
127499	14308	90.4	0.95	6	3	0	0	0	0.32	0			0.949		-0.049	13.885		
127499	14308	90.4	0.95	6	4	0	0	0	0.32	0			0.949		-0.049	13.885	-0.181	
127544	14353	90.3	0.95	6	3	0	0	0	0.00		0.00		0.964		0.000			-0.001
127544	14353	90.3	0.95	6	4	0	0	0	0.00	0		0.00	0.964		0.000		-0.985	-0.001
127581	14390	90.3	0.95	6	2	0	0	0	0.00				0.949		13.754			
127581	14390	90.3	0.95	6	3	0	0	0	0.00				0.949		13.754		460.561	
128077	14886	90.1	0.95	6	1	0	0	0					0.949					
128077	14886	90.1	0.95	6	2	0	0	0					0.949				460.447	
128077	14886	90.1	0.95	6	2	0	0	0					0.949					460.447
128077	14886	90.1	0.95	6	3	0	0	0					0.949				460.447	460.447

Tabla D.35: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_03

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
112177	0	95.5	0.98	6	6	0	0	0	0.00	0	0	0.01	0.915	0.246	-0.036	-0.027	-0.013	0.000
112182	5	95.5	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0		0.916	0.246	-0.031	-0.026	-0.013	
112230	53	95.5	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0.07	0.915	0.247	-0.039		0.000	445.182
112232	55	95.5	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0		0.916	0.246	-0.054		445.547	
112251	74	95.5	0.98	6	4	0	0	0		0	0		0.916	0.245		0.000	445.554	
112251	74	95.5	0.98	6	5	0	0	0		0	0		0.916	0.245		0.000	445.554	118.676
112606	429	95.4	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0		0.00	0.852	0.235	-0.019	-0.024		414.261
112636	459	95.4	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0			0.842	0.235	-0.030	-0.026		
112645	468	95.4	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0		0.00	0.853	0.235	-0.039			113.764
112684	507	95.4	0.98	6	3	0	0	0	0.00				0.842	0.235	-0.054			
112702	525	95.4	0.98	6	3	0	0	0		0			0.842	0.235		12.364		
112702	525	95.4	0.98	6	4	0	0	0		0			0.842	0.235		12.364		-1.779
115439	1262	95.2	0.98	6	3	0	0	0			0		0.915	0.246			118.953	
115439	1262	95.2	0.98	6	4	0	0	0			0		0.915	0.246			118.953	-0.012
115855	1678	95.1	0.97	6	2	0	0	0					0.841	0.235				
115855	1678	95.1	0.97	6	3	0	0	0					0.841	0.235				113.781
125153	12976	91.1	0.95	6	4	0	0	0	0.64	0		0.00	0.967		-0.039	0.000		0.089
125153	12976	91.1	0.95	6	5	0	0	0	0.64	0	0		0.967		-0.039	0.000	470.574	0.089
125188	13011	91.1	0.95	6	3	0	0	0	0.01	0			0.953		-0.043	13.995		
125188	13011	91.1	0.95	6	4	0	0	0	0.01	0			0.953		-0.043	13.995	-0.472	
125194	13017	91.1	0.95	6	2	0	0	0		0			0.953			-0.056		
125194	13017	91.1	0.95	6	3	0	0	0		0			0.953			-0.056	463.542	
125194	13017	91.1	0.95	6	3	0	0	0		0			0.953			-0.056		-1.855
125194	13017	91.1	0.95	6	4	0	0	0		0			0.953			-0.056	463.542	-1.855
125211	13034	91.1	0.95	6	3	0	0	0	0.00			0.00	0.970		0.000			-0.001
125211	13034	91.1	0.95	6	4	0	0	0	0.00	0			0.970		0.000		-1.022	-0.001
125257	13080	91.1	0.95	6	2	0	0	0	0.00				0.953		13.862			
125257	13080	91.1	0.95	6	3	0	0	0	0.00				0.953		13.862		463.693	
125854	13677	90.8	0.95	6	1	0	0	0					0.953					
125854	13677	90.8	0.95	6	2	0	0	0					0.953				463.508	
125854	13677	90.8	0.95	6	2	0	0	0					0.953					463.508
125854	13677	90.8	0.95	6	3	0	0	0					0.953				463.508	463.508

Tabla D.36: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_04

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
109889	0	95.7	0.98	6	6	0	0	0	0.00	0	0	0.05	0.970	0.245	-0.013	-0.026	-0.021	0.000
109891	2	95.7	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0		0.969	0.246	-0.017	-0.027	-0.021	
109914	25	95.7	0.98	6	4	0	0	0	0	0	0		0.969	0.245		-0.001	469.084	
109914	25	95.7	0.98	6	5	0	0	0	0	0	0		0.969	0.245		-0.001	469.084	118.048
109941	52	95.7	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.970	0.246	-0.035		0.000	469.326
109947	58	95.7	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0		0.969	0.246	-0.041		468.789	
110692	803	95.5	0.98	6	3	0	0	0		0	0		0.967	0.246			118.323	
110692	803	95.5	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.967	0.246				-0.021
110965	1076	95.5	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0			0.872	0.227	0.013	-0.020		422.139
110992	1103	95.5	0.98	6	4	0	0	0	0.25	0		0.00	0.873	0.227	-0.003			109.480
111209	1320	95.4	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0			0.845	0.228	-0.017	-0.026		
111230	1341	95.4	0.98	6	3	0	0	0		0			0.846	0.227		12.354		
111230	1341	95.4	0.98	6	4	0	0	0		0			0.846	0.227		12.354		
111259	1370	95.4	0.98	6	3	0	0	0	0.00				0.845	0.228	-0.041			-1.380
111933	2044	95.2	0.98	6	2	0	0	0					0.845	0.228				
111933	2044	95.2	0.98	6	3	0	0	0					0.845	0.228				109.751
122885	12996	91.5	0.96	6	4	0	0	0	0.00	0		0.00	0.987		-0.042	0.000		1.413
122885	12996	91.5	0.96	6	5	0	0	0	0.00	0	0		0.987		-0.042	0.000	477.865	1.413
122955	13066	91.5	0.96	6	3	0	0	0	0.06			0.00	0.989		0.000			-0.002
122955	13066	91.5	0.96	6	4	0	0	0	0.06		0	0.00	0.989		0.000		0.241	-0.002
123074	13185	91.5	0.96	6	2	0	0	0		0			0.955			-0.045		
123074	13185	91.5	0.96	6														

		Estadísticos					P-value							Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
123174	13285	91.4	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0.01	0.955		13.793		462.443		
123513	13624	91.2	0.95	6	1	0	0	0					0.955						
123513	13624	91.2	0.95	6	2	0	0	0					0.955				462.374		
123513	13624	91.2	0.95	6	2	0	0	0					0.955					462.374	
123513	13624	91.2	0.95	6	3	0	0	0					0.955				462.374	462.374	

**Tabla D.37:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_042

		Estadísticos					P-value							Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
108658	0	96.0	0.98	6	6	0	0	0	0.00	0	0	0.01	0.958	0.219	-0.047	-0.020	-0.017	0.000	
108662	0	96.0	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0		0.959	0.219	-0.042	-0.019	-0.016		
108691	33	96.0	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0.05	0.958	0.219	-0.064		0.000	465.801	
108693	35	96.0	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0		0.959	0.219	-0.060		466.123		
108814	156	96.0	0.98	6	4	0	0	0		0	0		0.958	0.218		0.000	465.726		
108814	156	96.0	0.98	6	5	0	0	0		0	0		0.958	0.218		0.000	465.726	105.338	
109446	788	95.9	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.877	0.204	-0.024	-0.016		426.274	
109466	808	95.9	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.878	0.204	-0.038			98.417	
109525	867	95.8	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0			0.865	0.204	-0.041	-0.020			
109554	896	95.8	0.98	6	3	0	0	0	0.00				0.865	0.204	-0.059				
109661	1003	95.8	0.98	6	3	0	0	0		0			0.862	0.204		12.590			
109661	1003	95.8	0.98	6	4	0	0	0		0			0.862	0.204		12.590		-1.884	
110331	1673	95.7	0.98	6	3	0	0	0			0		0.955	0.218			105.474		
110331	1673	95.7	0.98	6	4	0	0	0			0		0.955	0.218			105.474	-0.016	
111070	2412	95.5	0.98	6	2	0	0	0					0.862	0.204					
111070	2412	95.5	0.98	6	3	0	0	0					0.862	0.204				98.633	
120349	11691	92.7	0.96	6	4	0	0	0	0.04	0	0	0.00	0.979		-0.025	0.000		-0.359	
120349	11691	92.7	0.96	6	5	0	0	0	0.04	0	0		0.979		-0.025	0.000	475.941	-0.359	
120377	11719	92.7	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.981	0.000				-0.001	
120377	11719	92.7	0.96	6	4	0	0	0	0.00	0	0		0.981	0.000			-1.074	-0.001	
120422	11764	92.7	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0			0.961		-0.029	14.029			
120422	11764	92.7	0.96	6	4	0	0	0	0.00	0			0.961		-0.029	14.029	-1.091		
120460	11802	92.7	0.96	6	2	0	0	0	0.00				0.961		13.883				
120460	11802	92.7	0.96	6	3	0	0	0	0.00				0.961		13.883		467.154		
120469	11811	92.7	0.96	6	2	0	0	0		0			0.961			-0.058			
120469	11811	92.7	0.96	6	3	0	0	0		0			0.961			-0.058	466.881		
120469	11811	92.7	0.96	6	3	0	0	0		0			0.961			-0.058		-1.948	
120469	11811	92.7	0.96	6	4	0	0	0		0			0.961			-0.058	466.881	-1.948	
121336	12678	92.3	0.96	6	1	0	0	0					0.961						
121336	12678	92.3	0.96	6	2	0	0	0					0.961				466.957		
121336	12678	92.3	0.96	6	2	0	0	0					0.961					466.957	
121336	12678	92.3	0.96	6	3	0	0	0					0.961				466.957	466.957	

**Tabla D.38:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_05

		Estadísticos					P-value							Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
109254	0	95.2	0.98	6	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0	1.055	0.175	-0.021	-0.017	-0.024	-0.001	
109273	19	95.2	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	1.056	0.175	-0.035		-0.001	501.179	
109278	24	95.2	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	1.053	0.176	-0.032	-0.019	-0.025		
109303	49	95.2	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	1.053	0.176	-0.049		499.997		
109351	97	95.2	0.98	6	4	0	0	0		0.00	0		1.053	0.176		-0.001	499.911		
109351	97	95.2	0.98	6	5	0	0	0		0.00	0		1.053	0.176		-0.001	499.911	84.613	
110241	987	95.0	0.97	6	3	0	0	0			0		1.052	0.176			84.835		
110241	987	95.0	0.97	6	4	0	0	0			0		1.052	0.176			84.835	-0.025	
110511	1257	94.9	0.97	6	5	0	0	0	0.02	0.00		0	0.923	0.155	0.010	-0.011		446.842	
110518	1264	94.9	0.97	6	4	0	0	0	0.72	0.00		0	0.924	0.155	0.001			74.393	
110896	1642	94.8	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0.00			0.888	0.155	-0.052	-0.019			
110918	1664	94.8	0.97	6	3	0	0	0	0.00				0.888	0.156	-0.048				
110962	1708	94.8	0.97	6	3	0	0	0		0.00			0.888	0.155		12.959			
110962	1708	94.8	0.97	6	4	0	0	0		0.00			0.888	0.155		12.959		-1.565	
111757	2503	94.6	0.97	6	2	0	0	0					0.887	0.156					
111757	2503	94.6	0.97	6	3	0	0	0					0.887	0.156				74.889	
116347	7093	93.1	0.96	6	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	1.001		-0.017	0.000		0.667	
116347	7093	93.1	0.96	6	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	1.001		-0.017	0.000	484.592	0.667	
116360	7106	93.1	0.96	6	3	0	0	0	0.11		0		1.002	0.000				-0.003	
116360	7106	93.1	0.96	6	4	0	0	0	0.11		0		1.002	0.000			0.185	-0.003	
116685	7431	93.0	0.96	6	3	0	0	0	0.00	0.00			0.965		-0.025	14.058			
116685	7431	93.0	0.96	6	4	0	0	0	0.00	0.00			0.965		-0.025	14.058	-0.865		
116715	7461	92.9	0.96	6	2	0	0	0		0.00			0.965		13.923				
116715	7461	92.9	0.96	6	3	0	0	0		0.00			0.965		13.923		466.052		
116716	7462	92.9	0.96	6	2	0	0	0		0.00			0.965			-0.049			
116716	7462	92.9	0.96	6	3	0	0	0		0.00			0.965			-0.049	465.844		
116716	7462	92.9	0.96	6	3	0	0	0		0.00			0.965			-0.049		-1.617	
116716	7462	92.9	0.96	6	4	0	0	0		0.00			0.965			-0.049	465.844	-1.617	
117346	8092	92.7	0.96	6	1	0	0	0					0.965						
117346	8092	92.7	0.96	6	2	0	0	0					0.965				465.926		
117346	8092	92.7	0.96	6	2	0	0	0					0.965					465.926	
117346	8092	92.7	0.96	6	3	0	0	0					0.965				465.926	465.926	

**Tabla D.39:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_07

		Estadísticos					P-value							Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
106572	0	95.7	0.98	6	6	0	0	0	0	0	0	0.00	1.071	0.082	-0.074	-0.023	-0.023	0.001	
106587	15	95.7	0.98	6	5	0	0	0	0	0	0	0	1.075	0.081	-0.065	-0.022	-0.022		
106611	39	95.7	0.98	6	5	0	0	0	0	0	0	0.00	1.071	0.082	-0.093		0.000	520.991	
106621	49	95.7	0.98	6	4	0	0	0	0	0	0		1.075	0.082	-0.084		521.623		
106912	340	95.6	0.98	6	4	0	0	0		0	0		1.072	0.079		-0.001	521.385		
106912	340	95.6	0.98	6	5	0	0	0		0	0		1.072	0.079		-0.001	521.385	38.348	

Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_10

Continúa

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
107908	1336	95.4	0.98	6	5	0	0	0	0	0		0.00	0.961	0.061	-0.042	-0.018		467.143
107929	1357	95.4	0.98	6	4	0	0	0	0	0		0.00	0.961	0.062	-0.057			29.830
108021	1449	95.3	0.98	6	4	0	0	0	0	0			0.942	0.062	-0.065	-0.022		
108054	1482	95.3	0.98	6	3	0	0	0	0	0			0.942	0.063	-0.083			
108306	1734	95.3	0.98	6	3	0	0	0	0	0			0.943	0.061			13.823	
108306	1734	95.3	0.98	6	4	0	0	0	0	0			0.943	0.061			13.823	-2.624
109073	2501	95.1	0.97	6	4	0	0	0	0	0		0.00	0.992		-0.025	0.000		-1.118
109073	2501	95.1	0.97	6	5	0	0	0	0	0	0		0.992		-0.025	0.000	482.377	-1.118
109109	2537	95.1	0.97	6	3	0	0	0	0	0		0.00	0.993		0.000			-0.002
109109	2537	95.1	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0		0.993		0.000		-1.782	-0.002
109205	2633	95.1	0.97	6	3	0	0	0	0	0			0.972		-0.028	14.253		
109205	2633	95.1	0.97	6	4	0	0	0	0	0			0.972		-0.028	14.253	-1.916	
109257	2685	95.0	0.97	6	2	0	0	0	0	0			0.972		14.088			
109257	2685	95.0	0.97	6	3	0	0	0	0	0			0.972		14.088		472.655	
109425	2853	95.0	0.97	6	2	0	0	0	0	0			0.972			-0.080		
109425	2853	95.0	0.97	6	3	0	0	0	0	0			0.972			-0.080	472.399	
109425	2853	95.0	0.97	6	3	0	0	0	0	0			0.972			-0.080		-2.651
109425	2853	95.0	0.97	6	4	0	0	0	0	0			0.972			-0.080	472.399	-2.651
109540	2968	95.0	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0		1.068	0.080			38.732	
109540	2968	95.0	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0		1.068	0.080			38.732	-0.021
110690	4118	94.7	0.97	6	2	0	0	0	0	0			0.942	0.062				
110690	4118	94.7	0.97	6	3	0	0	0	0	0			0.942	0.062				29.948
111724	5152	94.4	0.97	6	1	0	0	0	0	0			0.971					
111724	5152	94.4	0.97	6	2	0	0	0	0	0			0.971				472.327	
111724	5152	94.4	0.97	6	2	0	0	0	0	0			0.971					472.327
111724	5152	94.4	0.97	6	3	0	0	0	0	0			0.971				472.327	472.327

Tabla D.40: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_10

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
106610	0	95.4	0.98	6	6	0	0	0	0.00	0	0	0.00	1.123	0.088	-0.030	-0.032	-0.050	0.000
106618	8	95.4	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	1.121	0.089	-0.036	-0.033	-0.031	
106681	71	95.4	0.98	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0.00	1.123	0.089	-0.056		-0.001	543.797
106696	86	95.4	0.98	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	1.121	0.090	-0.066			542.941
106712	102	95.4	0.98	6	4	0	0	0	0	0	0	0	1.121	0.088		-0.001	543.071	
106712	102	95.4	0.98	6	5	0	0	0	0	0	0	0	1.121	0.088		-0.001	543.071	42.422
108435	1825	95.0	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0	1.119	0.089			42.929	
108435	1825	95.0	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0	1.119	0.089			42.929	-0.031
108751	2141	94.9	0.97	6	5	0	0	0	0.02	0	0	0.00	0.978	0.061	0.010	-0.024		473.741
108786	2176	94.9	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.979	0.062	-0.010			29.701
109211	2601	94.8	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.939	0.062	-0.035	-0.033		
109279	2669	94.8	0.97	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.939	0.063	-0.065			
109286	2676	94.8	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.940	0.061			15.787	
109286	2676	94.8	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0.940	0.061			15.787	-2.129
109793	3183	94.6	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0.00	1.009		-0.029	0.000		0.567
109793	3183	94.6	0.97	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	1.009		-0.029	0.000	488.700	0.567
109844	3234	94.6	0.97	6	3	0	0	0	0.01	0	0	0.00	1.011		0.000			-0.005
109844	3234	94.6	0.97	6	4	0	0	0	0.01	0	0	0.00	1.011		0.000		-0.249	-0.005
110258	3648	94.5	0.97	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.969		-0.039	14.223		
110258	3648	94.5	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.969		-0.039	14.223	-0.974	
110308	3698	94.5	0.97	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.969			-0.066		
110308	3698	94.5	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.969			-0.066	469.418	
110308	3698	94.5	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.969			-0.066		-2.162
110308	3698	94.5	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0.969			-0.066	469.418	-2.162
110349	3739	94.5	0.97	6	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.970		14.082			
110349	3739	94.5	0.97	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.970		14.082		469.503	
110742	4132	94.3	0.97	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.939	0.063				
110742	4132	94.3	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.939	0.063				30.230
111734	5124	94.0	0.97	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0.970					
111734	5124	94.0	0.97	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.970				469.593	
111734	5124	94.0	0.97	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.970					469.593
111734	5124	94.0	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.970				469.593	469.593

Tabla D.41: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_102

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
107187	0	94.9	0.97	6	6	0	0	0	0.00	0	0	0.02	1.128	0.057	-0.045	-0.028	-0.029	0.000
107190	3	94.9	0.97	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0	1.127	0.058	-0.048	-0.029	-0.030	
107235	48	94.8	0.97	6	5	0	0	0	0.00	0	0	0.00	1.129	0.058	-0.066		0.000	545.627
107243	56	94.8	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	1.128	0.058	-0.074		545.028	
107344	157	94.8	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0	1.126	0.057		-0.001	544.379	
107344	157	94.8	0.97	6	5	0	0	0	0.73	0	0	0	1.126	0.057		-0.001	544.379	27.509
108952	1765	94.4	0.97	6	5	0	0	0	0.73	0	0	0.00	0.990	0.051	-0.002	-0.022		478.528
108980	1793	94.4	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.991	0.051	-0.020			15.117
109174	1987	94.3	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0	1.124	0.058			27.658	
109174	1987	94.3	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0	1.124	0.058			27.658	-0.029
109201	2014	94.3	0.97	6	4	0	0	0	0.73	0	0	0.00	1.006		-0.024	0.000		0.054
109201	2014	94.3	0.97	6	5	0	0	0	0.73	0	0	0	1.006		-0.024	0.000	486.139	0.054
109234	2047	94.3	0.97	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0.00	1.007		0.000			-0.003
109234	2047	94.3	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	1.007		0.000		-0.616	-0.003
109338	2151	94.2	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.052	-0.044	-0.032		
109396	2209	94.2	0.97	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.053	-0.073			
109454	2267	94.2	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0.953	0.051			13.963	
109454	2267	94.2	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.953	0.051			13.963	-2.360
109599	2412	94.2	0.97	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.968		-0.034	14.189		
109599	2412	94.2	0.97	6	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.968		-0.034	14.189	-1.396	
109665	2478	94.2	0.97	6	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.968			14.051		
109665	2478	94.2	0.97	6	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0					

AIC	Δ AIC	Estadísticos				P-value						Beta						
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
111312	4125	93.6	0.97	6	2	0	0					0.968					467.705	
111312	4125	93.6	0.97	6	2	0	0					0.968					467.705	467.705
111312	4125	93.6	0.97	6	3	0	0					0.968					467.705	467.705

**Tabla D.42:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 050\_20

AIC	Δ AIC	Estadísticos				P-value						Beta						
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
109762	0	94.5	0.97	6	6	0	0	0	0	0	0	1.058	0.051	-0.093	-0.039	-0.022	0.001	
109838	76	94.4	0.97	6	5	0	0	0	0	0	0	1.062	0.048	-0.072	-0.035	-0.019		
109850	88	94.4	0.97	6	5	0	0	0	0	0	0	1.059	0.051	-0.125		0.001	511.419	
109907	145	94.4	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	1.062	0.048	-0.103			513.005	
110143	381	94.3	0.97	6	4	0	0	0		0	0	1.061	0.047		-0.001		512.537	
110143	381	94.3	0.97	6	5	0	0	0	0	0	0	1.061	0.047		-0.001		512.537	22.792
110681	919	94.2	0.97	6	5	0	0	0	0	0	0	0.957	0.031	-0.063	-0.033			462.150
110691	929	94.2	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0.950	0.031	-0.071	-0.035			
110741	979	94.2	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0.959	0.032	-0.091				15.153
110758	996	94.2	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0.950	0.032	-0.103				
110925	1163	94.1	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0.973		-0.034	0.000			-2.057
110925	1163	94.1	0.97	6	5	0	0	0	0	0	0	0.973		-0.034	0.000	469.811		-2.057
110938	1176	94.1	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0.965		-0.035	14.082			
110938	1176	94.1	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0.965		-0.035	14.082	-2.345		
110979	1217	94.1	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0.950	0.031		13.854			
110979	1217	94.1	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0.950	0.031		13.854			-3.287
110988	1226	94.1	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0.975		0.000				-0.001
110988	1226	94.1	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0.975		0.000		-3.010		-0.001
111008	1246	94.1	0.97	6	2	0	0	0	0	0	0	0.966		13.955				
111008	1246	94.1	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0.966		13.955		466.380		
111214	1452	94.0	0.97	6	2	0	0	0	0	0	0	0.965			-0.099			
111214	1452	94.0	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0.965			-0.099	465.896		
111214	1452	94.0	0.97	6	3	0	0	0	0	0	0	0.965			-0.099			-3.293
111214	1452	94.0	0.97	6	4	0	0	0	0	0	0	0.965			-0.099	465.896		-3.293
113251	3489	93.3	0.97	6	3	0	0	0		0	0	1.059	0.048			22.989		
113251	3489	93.3	0.97	6	4	0	0	0		0	0	1.059	0.048			22.989		-0.019
113938	4176	93.1	0.96	6	2	0	0	0		0	0	0.949	0.032					
113938	4176	93.1	0.96	6	3	0	0	0		0	0	0.949	0.032					15.221
114149	4387	93.0	0.96	6	1	0	0	0		0	0	0.965						
114149	4387	93.0	0.96	6	2	0	0	0		0	0	0.965				465.866		
114149	4387	93.0	0.96	6	2	0	0	0		0	0	0.965						465.866
114149	4387	93.0	0.96	6	3	0	0	0		0	0	0.965				465.866		465.866

**Tabla D.43:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de porcentaje de tiempo en cola en la configuración 100\_00

Configuración	Resumen			M4-1			M4-2			M5			M6			M7			
	Modelo óptimo	AIC	Delta AIC	cor	AIC	Delta AIC	cor	AIC	Delta AIC	cor	AIC	Delta AIC	cor	AIC	Delta AIC	cor	AIC	Delta AIC	cor
za000_01	m6	113716	272	98	113916	472	98	130819	17375	96	113444	0	98	117320	3876	0.98	117320	3876	0.98
za050_01	m4-1	110791	0	98	110865	74	98	118294	7503	97	110874	83	97	112782	1991	0.98	112782	1991	0.98
za050_012	m6	110821	178	98	110797	154	98	118740	8097	97	110643	0	97	114289	3646	0.98	114289	3646	0.98
za050_013	m6	113208	125	97	113083	0	97	116103	3020	97	113215	132	97	113767	684	0.97	113767	684	0.97
za050_02	m6	111357	118	98	111411	172	98	117700	6461	97	111239	0	97	112956	1697	0.98	112956	1697	0.98
za050_022	m4-1	108748	0	98	108779	31	98	112763	4015	98	108810	62	98	110295	1547	0.98	110295	1547	0.98
za050_023	m6	108256	37	98	108219	0	98	115599	7380	98	108367	148	98	111140	2921	0.98	111140	2921	0.98
za050_024	m4-1	115710	0	97	115852	142	97	119639	3929	96	116098	388	96	117604	1894	0.97	117604	1894	0.97
za050_025	m4-1	108309	0	98	108392	83	98	114171	5862	98	108390	81	98	109851	1542	0.98	109851	1542	0.98
za050_026	m4-1	114904	0	97	115221	317	97	119750	4846	96	115323	419	96	116587	1683	0.97	116587	1683	0.97
za050_03	m6	111746	103	98	111890	247	98	117400	5757	97	111643	0	98	113307	1664	0.98	113307	1664	0.98
za050_04	m6	111372	171	98	111399	198	98	115578	4377	97	111201	0	98	112375	1174	0.98	112375	1174	0.98
za050_042	m6	108670	2	98	108765	97	98	112858	4190	98	108668	0	98	109693	1025	0.98	109693	1025	0.98
za050_05	m6	109175	175	98	109187	187	98	112382	3382	98	109000	0	98	109491	491	0.98	109491	491	0.98
za050_07	m4-1	109451	0	98	109462	11	98	112673	3222	97	109509	58	98	110232	781	0.97	110232	781	0.97
za050_10	m4-1	109692	0	97	109744	52	97	116808	7116	97	109923	231	97	110157	465	0.97	110157	465	0.97
za050_102	m4-1	108459	0	97	108537	78	97	116984	8525	97	108688	229	97	109756	1297	0.97	109756	1297	0.97
za050_20	m4-1	109286	0	97	109353	67	97	120054	10768	96	109576	290	96	110341	1055	0.97	110341	1055	0.97
za100_00	m6	113227	14	97	113213	0	97	122074	8861	96	113352	139	96	113564	351	0.97	113564	351	0.97

Tabla D.44: Resumen modelos estadísticos porcentaje de tiempo en cola. Modelos no lineales

D.2.3 Adelantamientos

Estadísticos							P-value							Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
158259	0	66.9	0.75	2	6	0	0	0	0.00	0.01	0	0	0.023	-0.015	-0.001	0.001	0.000	0.000	
158261	2	66.9	0.75	2	5	0	0	0	0.02	0	0	0	0.023	-0.015	0.000	0.000	0.000	0.023	
158353	94	66.7	0.76	2	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.021	-0.015	-0.002	0.000	0.021	0.021	
158354	95	66.7	0.76	2	5	0	0	0	0.00	0.22	0	0	0.021	-0.015	-0.002	0.000	0.000	0.000	
158447	188	66.5	0.76	2	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.021	-0.015		0.000	0.021	0.021	
158447	188	66.5	0.76	2	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.021	-0.015		0.000	0.021	-0.015	
158798	539	65.8	0.74	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0.021	-0.015		0.000	0.021	-0.015	
158798	539	65.8	0.74	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0.021	-0.015			-0.015	0.000	
159415	1156	64.5	0.84	2	4	0	0	0	0.02		0	0	0.014	-0.023	0.000		0.000	-0.023	
159415	1156	64.5	0.84	2	5	0	0	0	0.00	0.11	0	0	0.014	-0.023	-0.001	0.000	0.000	0.014	
159489	1230	64.4	0.84	2	3	0	0	0	0.00				0.013	-0.023	-0.002				
159491	1232	64.4	0.84	2	4	0	0	0	0.00	0.54			0.013	-0.023	-0.002	0.000			
159565	1306	64.2	0.84	2	3	0	0	0	0.00				0.013	-0.023		0.000			
159565	1306	64.2	0.84	2	4	0	0	0	0.00				0.013	-0.023		0.000		-0.066	
159912	1653	63.5	0.81	2	2	0	0	0					0.013	-0.023					
159912	1653	63.5	0.81	2	3	0	0	0					0.013	-0.023				-0.023	
163573	5314	56.0	0.64	1	5	0	0	0	0.00		0	0	0.022	-0.020	-0.001		0.000	10.760	
163573	5314	56.0	0.64	1	6	0	0	0	0.00	0.05	0	0	0.022	-0.020	-0.001	0.000	-0.001	0.000	
163604	5345	56.0	0.63	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.022	-0.020	-0.002	-0.001	-0.001	0.000	
163607	5348	56.0	0.63	1	4	0	0	0	0.00		0	0	0.022	-0.020	-0.002			10.678	
163653	5394	55.9	0.63	1	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.022	-0.020		0.000	10.680	0.000	
163653	5394	55.9	0.63	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.022	-0.020		0.000	10.680	-9.525	
163984	5725	55.2	0.61	1	4	0	0	0	0.59		0	0	0.017	-0.021	0.000			-10.064	
163986	5727	55.2	0.61	1	5	0	0	0	0.36	0.47	0	0	0.017	-0.021	0.000	0.000		8.449	
164112	5853	54.9	0.62	1	3	0	0	0			0	0	0.022	-0.020			-9.577		
164112	5853	54.9	0.62	1	4	0	0	0			0	0	0.022	-0.020			-9.577	-0.001	
164186	5927	54.8	0.59	1	4	0	0	0	0.00	0.01			0.016	-0.021	-0.002	0.000			
164188	5929	54.8	0.59	1	3	0	0	0	0.00				0.016	-0.021	-0.002				
164232	5973	54.7	0.59	1	3	0	0	0		0.00			0.016	-0.021		0.228			
164232	5973	54.7	0.59	1	4	0	0	0	0.00				0.016	-0.021		0.228		-0.072	
164657	6398	53.8	0.58	1	2	0	0	0					0.016	-0.021					
164657	6398	53.8	0.58	1	3	0	0	0					0.016	-0.021				-10.084	
185882	27623	10.4	0.32	1	4	0	0	0	0.00		0	0	0.010		0.000			0.000	
185882	27623	10.4	0.32	1	4	0	0	0	0.05	0.38		0	0.010		0.000	0.000		0.019	
185882	27623	10.4	0.32	1	4	0	0	0	0.00		0	0	0.010		0.000		0.026	0.000	
185882	27623	10.4	0.32	1	5	0	0	0	0.05	0.38	0	0	0.010		0.000	0.000	4.892	0.019	
186262	28003	9.6	0.32	1	2	0	0	0					0.008		0.110				
186262	28003	9.6	0.32	1	3	0	0	0	0.00				0.008		0.110			3.689	
186264	28005	9.6	0.32	1	3	0	0	0	0.00	0.78			0.008		0.000	0.111		0.000	
186264	28005	9.6	0.32	1	4	0	0	0	0.00	0.78			0.008		0.000	0.111	-0.077		
186381	28122	9.4	0.31	1	2	0	0	0		0.00			0.008			0.111			
186381	28122	9.4	0.31	1	3	0	0	0		0.00			0.008			0.111			
186381	28122	9.4	0.31	1	5	0	0	0		0.00			0.008			0.111			
186381	28122	9.4	0.31	1	4	0	0	0		0.00			0.008			0.111			
186381	28122	9.4	0.31	1	5	0	0	0		0.00			0.008			0.111			
186787	28528	8.6	0.27	1	1	0	0	0					0.008						
186787	28528	8.6	0.27	1	2	0	0	0					0.008					3.765	
186787	28528	8.6	0.27	1	2	0	0	0					0.008					3.765	
186787	28528	8.6	0.27	1	2	0	0	0					0.008					3.765	
186787	28528	8.6	0.27	1	5	0	0	0					0.008					3.765	
186787	28528	8.6	0.27	1	5	0	0	0					0.008					3.765	
187696	29437	6.7	0.28	2	2	0	0	0	0.00		0	0	0.007		0.000			0.000	
187696	29437	6.7	0.28	2	4	0	0	0	0.00		0	0	0.007		0.000		-0.028	0.000	
187698	29439	6.7	0.28	2	4	0	0	0	0.01	0.99		0	0.007		0.000	0.000	0.000	-0.028	
187698	29439	6.7	0.28	2	5	0	0	0	0.01	0.99	0	0	0.007		0.000	0.000	0.007	-0.028	
187764	29505	6.5	0.28	2	2	0	0	0	0.00				0.006		0.000				
187764	29505	6.5	0.28	2	3	0	0	0	0.00				0.006		0.000			0.006	
187766	29507	6.5	0.28	2	5	0	0	0	0.00	0.65			0.006		0.000	0.000		0.006	
187766	29507	6.5	0.28	2	4	0	0	0	0.00	0.65			0.006		0.000	0.000	-0.077		
187874	29615	6.3	0.28	2	2	0	0	0		0.00			0.006			-0.002			
187874	29615	6.3	0.28	2	3	0	0	0		0.00			0.006			-0.002	0.006		
187874	29615	6.3	0.28	2	5	0	0	0		0.00			0.006			-0.002	0.006	-0.070	
187874	29615	6.3	0.28	2	4	0	0	0		0.00			0.006			-0.002	0.006	-0.070	
188322	30063	5.4	0.23	2	1	0	0	0					0.006						
188322	30063	5.4	0.23	2	2	0	0	0					0.006						
188322	30063	5.4	0.23	2	2	0	0	0					0.006					0.006	
188322	30063	5.4	0.23	2	3	0	0	0					0.006					0.006	

Tabla D.45: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 000\_01

Estadísticos							P-value						Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
155118	0	73	1	0	5	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.036	0.000	-0.026	-0.029	0.000		
155240	122	73	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.036		-0.026	50.535			
155240	122	73	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.036		-0.026	50.535		-0.000	
155241	123	73	1	0	4	0.00	0.00	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.036	-0.000	-0.026	-0.026			
157125	2007	69	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.015	0.002		-0.006	0.015		
157232	2114	69	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.012	0.003		17.233			
157258	2140	69	1	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.012			-0.025			
157258	2140	69	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.012			-0.025		0.012	
157301	2183	69	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	-0.020	-0.022		0.039		
157506	2388	68	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	-0.024	-0.025				
158798	5680	66	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.021	-0.015				-0.015	
159912	4794	64	1	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.013	-0.023					
186712	31594	9	0	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.025		35.499				
186712	31594	9	0	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.025		35.499		0.025		
188322	33204	5	0																



D.2 Modelos previos configuraciones individuales

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
137415	46	68.1	0.79	2	4	0	0	0	0.00	0.18	0		0.037	-0.028	-0.005	-0.001	0.037	
137416	47	68.1	0.79	2	5	0	0	0	0.00	0.00	0		0.037	-0.028	-0.005	-0.001	0.000	
137519	150	67.9	0.79	2	4	0	0	0	0.00	0.00	0		0.037	-0.029		0.000	0.037	
137519	150	67.9	0.79	2	5	0	0	0	0.00	0.00	0		0.037	-0.029		0.000	0.037	-0.029
138155	786	66.5	0.76	2	3	0	0	0	0.00	0.00	0		0.037	-0.028			-0.028	
138155	786	66.5	0.76	2	4	0	0	0	0.00	0.00	0		0.037	-0.028			-0.028	0.000
138671	1302	65.4	0.86	2	5	0	0	0	0.00	0.02		0.00	0.022	-0.044	-0.005	-0.001		0.022
138673	1304	65.4	0.85	2	4	0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.022	-0.044	-0.004			-0.044
138690	1321	65.4	0.86	2	4	0	0	0	0.00	0.00			0.021	-0.044	-0.004	-0.001		
138695	1324	65.4	0.86	2	3	0	0	0	0.00	0.00			0.021	-0.044	-0.006			
138766	1397	65.2	0.86	2	3	0	0	0	0.00	0.00			0.021	-0.044		0.001		
138766	1397	65.2	0.86	2	4	0	0	0	0.00	0.00			0.021	-0.044		0.001		-0.175
139438	2069	65.8	0.83	2	2	0	0	0	0.00	0.00			0.021	-0.044				
139438	2069	65.8	0.83	2	3	0	0	0	0.00	0.00			0.021	-0.044				
143990	6621	54.2	0.58	1	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0.07	0.059	-0.056	-0.003	-0.003	-0.002	0.000
143991	6622	54.2	0.58	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0		0.059	-0.056	-0.003	-0.003	-0.002	
144023	6654	54.1	0.58	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0.01	0.059	-0.056	-0.005		0.000	19.051
144026	6657	54.1	0.57	1	4	0	0	0	0.00	0.00	0		0.059	-0.056	-0.006		18.991	
144026	6657	54.1	0.58	1	4	0	0	0	0.00	0.00	0		0.059	-0.056		0.000	19.013	
144026	6657	54.1	0.58	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0		0.059	-0.056		0.000	19.013	-17.571
144676	7307	52.7	0.53	1	5	0	0	0	0.65	0.00		0.00	0.027	-0.039	0.000	-0.002		13.511
144696	7327	52.7	0.52	1	4	0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.028	-0.039	-0.002			-18.778
144808	7439	52.4	0.50	1	4	0	0	0	0.00	0.00			0.025	-0.039	-0.003	-0.003		
144839	7470	52.4	0.49	1	3	0	0	0	0.00	0.00			0.025	-0.039	-0.006			
144842	7473	52.4	0.50	1	3	0	0	0	0.00	0.00			0.025	-0.039		0.360		
144842	7473	52.4	0.50	1	4	0	0	0	0.00	0.00			0.025	-0.039		0.360		-0.187
144866	7497	52.3	0.57	1	3	0	0	0	0.00	0.00	0		0.039	-0.056			-17.542	
144866	7497	52.3	0.57	1	4	0	0	0	0.00	0.00	0		0.039	-0.056			-17.542	-0.002
145641	8272	50.7	0.50	1	2	0	0	0	0.00	0.00			0.025	-0.039				
145641	8272	50.7	0.50	1	3	0	0	0	0.00	0.00			0.025	-0.039				-18.723
165926	28557	7.7	0.29	1	3	0	0	0	0.48	0.00		0.00	0.015		0.000		0.009	0.000
165926	28557	7.7	0.29	1	4	0	0	0	0.48	0.00	0		0.015		0.000		0.009	0.000
165927	28558	7.7	0.29	1	4	0	0	0	0.45	0.71		0.00	0.015		0.000	0.000		0.014
165927	28558	7.7	0.29	1	5	0	0	0	0.45	0.71	0		0.015		0.000	0.000	7.374	0.014
166211	28842	7.1	0.28	1	2	0	0	0	0.00	0.00			0.011		0.163			
166211	28842	7.1	0.28	1	3	0	0	0	0.00	0.00			0.011		0.163		5.475	
166212	28843	7.1	0.28	1	3	0	0	0	0.00	0.32			0.011		0.000	0.164		
166212	28843	7.1	0.28	1	4	0	0	0	0.00	0.32			0.011		0.000	0.164	-0.149	
166332	28963	6.8	0.28	1	2	0	0	0	0.00	0.00			0.011		-0.004			
166332	28963	6.8	0.28	1	3	0	0	0	0.00	0.00			0.011		-0.004		5.422	
166332	28963	6.8	0.28	1	3	0	0	0	0.00	0.00			0.011		-0.004			-0.142
166332	28963	6.8	0.28	1	4	0	0	0	0.00	0.00			0.011		-0.004		5.422	-0.142
166855	29486	5.7	0.23	1	1	0	0	0	0.00	0.00			0.012					
166855	29486	5.7	0.23	1	2	0	0	0	0.00	0.00			0.012				5.571	
166855	29486	5.7	0.23	1	2	0	0	0	0.00	0.00			0.012					5.571
166855	29486	5.7	0.23	1	3	0	0	0	0.00	0.00			0.012				5.571	5.571
167278	29909	4.8	0.25	2	3	0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.010		0.000			0.000
167278	29909	4.8	0.25	2	4	0	0	0	0.00	0.30		0.00	0.010		-0.001	0.000		-0.075
167278	29909	4.8	0.25	2	4	0	0	0	0.00	0.00	0		0.010		0.000		-0.091	0.000
167278	29909	4.8	0.25	2	5	0	0	0	0.00	0.30	0		0.010		-0.001	0.000	0.010	-0.075
167514	29945	4.8	0.25	2	3	0	0	0	0.00	0.20			0.008		-0.001	0.000		
167514	29945	4.8	0.25	2	4	0	0	0	0.00	0.20			0.008		-0.001	0.000	-0.146	
167515	29946	4.8	0.25	2	2	0	0	0	0.00	0.00			0.008		0.000			
167515	29946	4.8	0.25	2	3	0	0	0	0.00	0.00			0.008		0.000		0.008	
167422	30053	4.5	0.25	2	2	0	0	0	0.00	0.00			0.008			-0.004		
167422	30053	4.5	0.25	2	3	0	0	0	0.00	0.00			0.008			-0.004	0.008	
167422	30053	4.5	0.25	2	3	0	0	0	0.00	0.00			0.008			-0.004		-0.146
167422	30053	4.5	0.25	2	4	0	0	0	0.00	0.00			0.008			-0.004	0.008	-0.146
167972	30603	3.4	0.19	2	1	0	0	0	0.00	0.00			0.008					
167972	30603	3.4	0.19	2	2	0	0	0	0.00	0.00			0.008				0.008	
167972	30603	3.4	0.19	2	2	0	0	0	0.00	0.00			0.008					0.008
167972	30603	3.4	0.19	2	3	0	0	0	0.00	0.00			0.008				0.008	0.008

Tabla D.47: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_01

Estadísticos							P-value						Beta				
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	
134416	0	74	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.057	0.007	-0.043	-0.064	0.000	
134522	106	74	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.058	0.007	-0.038	-0.057		
134570	154	74	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.059		-0.050	82.648		
134570	154	74	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.059		-0.050	82.648	-0.000	
135898	1482	71	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.023	0.011		-0.009	0.023	
135959	1543	71	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.020	0.012		27.496		
136101	1685	71	1	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.020			-0.050		
136101	1685	71	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.020			-0.050	0.020	
137161	2745	69	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.064	-0.056	-0.054		0.064	
137542	3126	68	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.064	-0.045	-0.043			
138155	3739	67	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.057	-0.028			-0.028	
139438	5022	64	1	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.021	-0.044				
166582	32166	6	0	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.042		59.310			
166582	32166	6	0	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.042		59.310		0.042	
167972	33556	3	0	0	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.008					
167972	33556	3	0	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.008				0.008	

Tabla D.48: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_01 (II)

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
152835	0	60.7	0.78	2	6	0	0	0	0.00	0.01	0		0.036	-0.014	-0.002	-0.001	0.000	0.000
152838	3	60.7	0.78															

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:Hvd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:Hvd
154883	2048	56.0	0.86	2	4	0	0	0	0.00			0.00	0.018	-0.030	-0.003			-0.050
154885	2050	56.0	0.86	2	4	0	0	0	0.00	0.00			0.017	-0.030	-0.003	-0.002		
154896	2061	56.0	0.86	2	3	0	0	0	0.00				0.017	-0.030	-0.004			
154958	2105	55.9	0.86	2	3	0	0	0		0.00			0.017	-0.030		0.001		
154958	2105	55.9	0.86	2	4	0	0	0		0.00			0.017	-0.030		0.001		-0.143
155648	2813	54.3	0.83	2	2	0	0	0					0.017	-0.030				
155648	2813	54.3	0.83	2	3	0	0	0					0.017	-0.030				-0.030
158264	5429	48.4	0.68	1	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0.04	0.035	-0.024	-0.002	-0.003	-0.002	0.000
158265	5430	48.4	0.68	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0		0.035	-0.024	-0.002	-0.003	-0.002	
158292	5457	48.3	0.67	1	4	0	0	0		0.00	0		0.035	-0.024		0.000	16.940	
158292	5457	48.3	0.67	1	5	0	0	0		0.00	0		0.035	-0.024		0.000	16.940	-11.451
158304	5469	48.3	0.67	1	5	0	0	0	0.00	0	0.00		0.035	-0.024	-0.004		0.000	16.949
158308	5473	48.2	0.67	1	4	0	0	0	0.00	0			0.035	-0.024	-0.005		16.890	
159110	6275	46.4	0.66	1	3	0	0	0		0			0.035	-0.024			-11.381	
159110	6275	46.4	0.66	1	4	0	0	0		0			0.035	-0.024			-11.381	-0.002
159209	6374	46.2	0.67	1	5	0	0	0	0.05	0.00	0.00	0.00	0.024	-0.026	0.001	-0.002		11.397
159229	6394	46.1	0.67	1	4	0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.024	-0.026	-0.001			-12.488
159379	6544	45.8	0.65	1	4	0	0	0	0.00	0.00			0.021	-0.026	-0.002	-0.002		
159408	6573	45.7	0.65	1	3	0	0	0		0.00			0.021	-0.026		0.306		
159408	6573	45.7	0.65	1	4	0	0	0		0.00			0.021	-0.026		0.306		-0.147
159413	6578	45.7	0.65	1	3	0	0	0	0.00				0.021	-0.026	-0.004			
160169	7354	44.0	0.64	1	2	0	0	0		0			0.021	-0.026				
160169	7354	44.0	0.64	1	3	0	0	0		0			0.021	-0.026				-12.403
173807	20972	13.0	0.38	1	3	0	0	0	0.44			0.00	0.016		0.000			0.000
173807	20972	13.0	0.38	1	4	0	0	0	0.12	0.16		0.00	0.016		0.000	0.000		0.021
173807	20972	13.0	0.38	1	4	0	0	0	0.44		0		0.016		0.000		0.007	0.000
173807	20972	13.0	0.38	1	5	0	0	0	0.12	0.16	0		0.016		0.000	0.000	7.641	0.021
174067	21232	12.4	0.37	1	3	0	0	0	0.00	0.01			0.015	-0.001	0.185			
174067	21232	12.4	0.37	1	4	0	0	0	0.00	0.01			0.015	-0.001	0.185		-0.102	
174072	21237	12.4	0.37	1	2	0	0	0		0.00			0.015		0.183			
174072	21237	12.4	0.37	1	3	0	0	0	0.00				0.015		0.183		6.147	
174145	21310	12.2	0.37	1	2	0	0	0		0.00			0.015			-0.003		
174145	21310	12.2	0.37	1	3	0	0	0		0.00			0.015			-0.003	6.127	
174145	21310	12.2	0.37	1	3	0	0	0		0.00			0.015			-0.003		-0.116
174145	21310	12.2	0.37	1	4	0	0	0		0.00			0.015			-0.003	6.127	-0.116
174663	21828	11.0	0.32	1	1	0	0	0					0.015					
174663	21828	11.0	0.32	1	2	0	0	0					0.015				6.225	
174663	21828	11.0	0.32	1	2	0	0	0					0.015					6.225
174663	21828	11.0	0.32	1	3	0	0	0					0.015				6.225	6.225
175684	22849	8.7	0.33	2	4	0	0	0	0.00	0.04	0.00		0.011	-0.001	0.000			-0.054
175684	22849	8.7	0.33	2	5	0	0	0	0.00	0.04	0		0.011	-0.001	0.000	0.011		-0.054
175687	22852	8.7	0.33	2	3	0	0	0		0.00	0.00		0.011		0.000		0.011	0.000
175687	22852	8.7	0.33	2	4	0	0	0		0.00	0		0.011		0.000		-0.076	0.000
175710	22875	8.6	0.33	2	3	0	0	0	0.00	0.02			0.010	-0.001	0.000			
175710	22875	8.6	0.33	2	4	0	0	0	0.00	0.02			0.010	-0.001	0.000		-0.103	
175715	22880	8.6	0.33	2	2	0	0	0		0.00			0.010		0.000			
175715	22880	8.6	0.33	2	3	0	0	0	0.00				0.010		0.000		0.010	
175783	22948	8.5	0.33	2	2	0	0	0		0.00			0.010			-0.004		
175783	22948	8.5	0.33	2	3	0	0	0		0.00			0.010			-0.004	0.010	
175783	22948	8.5	0.33	2	3	0	0	0		0.00			0.010			-0.004		-0.119
175783	22948	8.5	0.33	2	4	0	0	0		0.00			0.010			-0.004	0.010	-0.119
176320	23485	7.2	0.28	2	1	0	0	0					0.010					
176320	23485	7.2	0.28	2	2	0	0	0					0.010				0.010	
176320	23485	7.2	0.28	2	2	0	0	0					0.010					0.010
176320	23485	7.2	0.28	2	3	0	0	0					0.010				0.010	0.010

**Tabla D.49:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_012

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo		
148808	0	70	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.052	0.020	-0.037	-0.057	0.000		
148823	15	70	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.052	0.019	-0.036	-0.055			
149449	641	68	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.055		-0.035	77.606			
149449	641	68	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.055		-0.035	77.606	-0.000		
150584	1776	66	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.022	0.023	-0.013	-0.013	0.022		
150813	2005	65	1	0	3	0.00	0.00	0.00		0.00		0.016	0.023		22.050			
151690	2882	63	1	0	2	0.00	0.00			0.00		0.017			-0.034			
151690	2882	63	1	0	3	0.00	0.00			0.00		0.017			-0.034	0.017		
152427	3619	62	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.058	-0.021	-0.030		0.058		
153244	4456	60	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00			0.057	-0.031	-0.039				
153632	4824	59	1	0	3	0.00	0.00	0.00		0.00		0.034	-0.014			-0.014		
155648	6840	54	1	0	2	0.00	0.00	0.00				0.017	-0.030					
174603	25795	11	0	0	2	0.00	0.00		0.00			0.041		57.511				
174603	25795	11	0	0	3	0.00	0.00		0.00			0.041		57.511		0.041		
176320	27512	7	0	0	1	0.00	0.00					0.010						
176320	27512	7	0	0	2	0.00	0.00					0.010				0.010		

**Tabla D.50:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_012 (II)

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:Hvd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:Hvd
121816	0	70.2	0.79	2	5	0	0	0	0.00		0	0.00	0.044	-0.043	-0.003		0.000	0.044
121818	2	70.2	0.79	2	6	0	0	0	0.00	0.43	0	0.00	0.044	-0.043	-0.004	0.000	0.000	0.000
121850	14	70.1	0.79	2	4	0	0	0	0.00	0.00	0		0.042	-0.043	-0.005	0.000	0.042	
121852	16	70.1	0.79	2	5	0	0	0	0.00	0.62	0		0.042	-0.043	-0.005	0.000	0.000	
121895	77	70.0	0.79	2	4	0	0	0		0.00	0		0.042	-0.043		0.000	0.042	
121895	77	70.0	0.79	2	5	0	0	0		0.00	0		0.042	-0.043		0.000	0.042	-0.043
122129	313	69.5	0.78	2	3	0	0	0			0		0.045	-0.043			-0.043	
122129	313	69.5	0.78	2	4	0	0	0			0		0.045	-0.043			-0.043	0.000
122855	1019	67.9	0.85	2	4	0	0	0	0.00			0.00	0.025	-0.063	-0.003			-0.063
122857	1021	67.9	0.85	2	5	0	0	0	0.00	0.79		0.00	0.025	-0.063	-0.003	0.000		0.025
122843	1027	67.9	0.85	2	5	0	0	0	0.00				0.025	-0.063	-0.005			
122845	1029	67.9	0.85</															

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

Estadísticos		P-value										Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
126673	4857	59.5	0.55	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0		0.051	-0.054	-0.005	-0.005	-0.004	
126674	4858	59.5	0.55	1	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0.67	0.051	-0.054	-0.005	-0.005	-0.004	0.000
126686	4870	59.5	0.54	1	4	0	0	0	0.00		0		0.051	-0.054	-0.006		24.656	
126688	4872	59.5	0.55	1	4	0	0	0		0.00	0		0.051	-0.054		0.000	24.680	
126688	4872	59.5	0.54	1	5	0	0	0	0.00		0	0.39	0.051	-0.054	-0.005		0.000	24.682
126688	4872	59.5	0.55	1	5	0	0	0		0.00	0		0.051	-0.054		0.000	24.680	-26.061
127046	5230	58.7	0.54	1	3	0	0	0			0		0.051	-0.054			-26.146	
127046	5230	58.7	0.54	1	4	0	0	0			0		0.051	-0.054			-26.146	-0.005
127587	5571	57.9	0.45	1	5	0	0	0	0.04	0.00		0.00	0.053	-0.058	0.001	-0.002		16.220
127592	5576	57.9	0.44	1	4	0	0	0	0.59			0.00	0.054	-0.058	0.000			-27.812
127502	5686	57.7	0.43	1	4	0	0	0	0.00	0.00			0.050	-0.058	-0.005	-0.002		
127511	5695	57.6	0.42	1	3	0	0	0	0.00				0.050	-0.058	-0.005			
127520	5704	57.6	0.44	1	3	0	0	0		0.00			0.050	-0.058		0.435		
127520	5704	57.6	0.44	1	4	0	0	0		0.00			0.050	-0.058		0.435		-0.175
127848	6032	56.9	0.42	1	2	0	0	0					0.050	-0.058				
127848	6032	56.9	0.42	1	3	0	0	0					0.050	-0.058				-27.868
152295	30477	3.2	0.17	1	3	0	0	0	0.00		0.00		0.014		0.000			0.000
152295	30477	3.2	0.17	1	4	0	0	0	0.10	0.44		0.00	0.014		0.001	0.000		0.050
152295	30477	3.2	0.17	1	4	0	0	0			0		0.014		0.000		0.069	0.000
152295	30477	3.2	0.17	1	5	0	0	0	0.00	0.44	0		0.014		0.001	0.000	6.939	0.050
152591	30775	2.5	0.16	1	2	0	0	0					0.008		0.122			
152591	30775	2.5	0.16	1	3	0	0	0	0.00				0.008		0.122		4.095	
152595	30777	2.5	0.16	1	3	0	0	0	0.00	0.64			0.008		0.000	0.124		
152595	30777	2.5	0.16	1	4	0	0	0	0.00	0.64			0.008		0.000	0.124	-0.196	
152705	30887	2.3	0.16	1	2	0	0	0		0.00			0.008			-0.004		
152705	30887	2.3	0.16	1	3	0	0	0		0.00			0.008			-0.004	4.015	
152705	30887	2.3	0.16	1	3	0	0	0		0.00			0.008			-0.004		-0.148
152705	30887	2.3	0.16	1	4	0	0	0		0.00			0.008			-0.004	4.015	-0.148
152990	31174	1.6	0.11	1	1	0	0	0					0.009					
152990	31174	1.6	0.11	1	2	0	0	0					0.009				4.179	
152990	31174	1.6	0.11	1	2	0	0	0					0.009					4.179
152990	31174	1.6	0.11	1	3	0	0	0					0.009				4.179	4.179
153062	31246	1.5	0.14	2	3	0	0	0	0.00		0.00		0.006		0.000			0.000
153062	31246	1.5	0.14	2	4	0	0	0	0.00		0		0.006		0.000		-0.097	0.000
153064	31248	1.5	0.14	2	4	0	0	0	0.00	0.96		0.00	0.006		0.000	0.000		-0.098
153064	31248	1.5	0.14	2	5	0	0	0	0.00	0.96	0		0.006		0.000	0.000	0.006	-0.098
153089	31273	1.4	0.13	2	2	0	0	0		0.00			0.004		0.000			
153089	31273	1.4	0.13	2	3	0	0	0		0.00			0.004		0.000		0.004	
153091	31275	1.4	0.13	2	3	0	0	0	0.00	0.95			0.004		0.000	0.000		
153091	31275	1.4	0.13	2	4	0	0	0	0.00	0.95			0.004		0.000	0.000	-0.186	
153186	31370	1.2	0.13	2	2	0	0	0		0.00			0.004			-0.005		
153186	31370	1.2	0.13	2	3	0	0	0		0.00			0.004			-0.005	0.004	
153186	31370	1.2	0.13	2	3	0	0	0		0.00			0.004			-0.005		-0.155
153186	31370	1.2	0.13	2	4	0	0	0		0.00			0.004			-0.005	0.004	-0.155
153498	31682	0.5	0.07	2	1	0	0	0					0.005					
153498	31682	0.5	0.07	2	2	0	0	0					0.005				0.005	
153498	31682	0.5	0.07	2	2	0	0	0					0.005					0.005
153498	31682	0.5	0.07	2	3	0	0	0					0.005				0.005	0.005

Tabla D.51: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_013

Estadísticos		P-value								Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo
120641	0	75	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.075	-0.020	-0.051	-0.046	-0.000
120648	7	75	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.075	-0.020	-0.053	-0.049	
120849	208	72	1	0	3	0.00	0.00		0.00	0.00		0.072		-0.071	100.683	
120849	208	72	1	0	4	0.00	0.00		0.00	0.00		0.072		-0.071	100.683	-0.000
121350	689	71	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.079	-0.052	-0.045		0.079
121655	1014	71	1	0	4	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.034	-0.017		-0.029	0.034
121668	1027	70	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00			0.079	-0.065	-0.055		
121985	1344	70	1	0	3	0.00	0.00		0.00	0.00		0.021	-0.016		50.049	
122111	1470	70	1	0	2	0.00	0.00			0.00		0.020			-0.070	
122111	1470	70	1	0	3	0.00	0.00			0.00		0.020			-0.070	0.020
122129	1488	69	1	0	3	0.00	0.00	0.00			0.00	0.045	-0.043			-0.043
123143	2502	67	1	0	2	0.00	0.00	0.00				0.023	-0.063			
152485	31844	3	0	0	2	0.00	0.00		0.00			0.046		64.728		
152485	31844	3	0	0	3	0.00	0.00		0.00			0.046		64.728		0.046
153498	32857	1	0	0	1	0.00	0.00					0.005				
153498	32857	1	0	0	2	0.00	0.00					0.005				0.005

Tabla D.52: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_013 (II)

Estadísticos		P-value										Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
135565	0	68.3	0.78	2	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.043	-0.029	-0.005	-0.005	0.000	0.043
135566	1	68.3	0.78	2	6	0	0	0	0.00	0.09	0	0.00	0.045	-0.029	-0.002	-0.001	0.000	0.000
135601	56	68.2	0.79	2	5	0	0	0	0.00	0.02	0		0.041	-0.029	-0.005	-0.001	0.000	
135603	58	68.2	0.79	2	4	0	0	0			0		0.041	-0.029	-0.006		0.041	
135669	104	68.0	0.79	2	4	0	0	0		0.00	0		0.041	-0.029		0.000	0.041	
135669	104	68.0	0.79	2	5	0	0	0		0.00	0		0.041	-0.029		0.000	0.041	-0.029
136181	616	66.9	0.77	2	3	0	0	0			0		0.041	-0.029			-0.029	
136181	616	66.9	0.77	2	4	0	0	0			0		0.041	-0.029			-0.029	0.000
136956	1391	65.1	0.86	2	5	0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.024	-0.048	-0.002	-0.001	0.000	0.024
136959	1394	65.1	0.86	2	4	0	0	0		0.00	0.00		0.024	-0.048	-0.004			-0.048
136974	1409	65.1	0.86	2	4	0	0	0	0.00	0.00			0.022	-0.048	-0.004	-0.001		
136979	1414	65.1	0.86	2	3	0	0	0		0.00			0.022	-0.048	-0.006			
137026	1461	65.0	0.86	2	3	0	0	0		0.00			0.022	-0.048		0.001		
137026	1461	65.0	0.86	2	4	0	0	0		0.00			0.022	-0.048		0.001		-0.176
137561	1996	63.7	0.84	2	2	0	0	0					0.022	-0.048				
137561	1996	63.7	0.84	2	3	0	0	0					0.022	-0.048				-0.048
141047	5482	55.8	0.62	1	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0.04	0.045	-0.040	-0.005	-0.002	-0.005	0.000
141048	5483	55.8	0.62	1	5	0	0	0		0.00	0		0.045	-0.040	-0.004	-0.002	-0.005	
141060	5495	55.8	0.62	1	5	0	0	0										

AIC	Δ AIC	Estadísticos				P-value							Beta				
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HvD	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo
141743	6178	54.2	0.61	1	4	0	0	0				0.045	-0.040			-19.123	-0.003
141863	6298	53.9	0.57	1	5	0	0	0	0.31	0.00		0.051	-0.043	0.000	-0.002		14.988
141868	6303	53.9	0.58	1	4	0	0	0	0.01			0.051	-0.043	-0.001			-20.488
142031	6466	53.5	0.55	1	4	0	0	0	0.00	0.00		0.028	-0.043	-0.004	-0.002		
142046	6481	53.5	0.56	1	3	0	0	0	0.00			0.028	-0.043	-0.006			
142068	6503	53.5	0.54	1	3	0	0	0		0.00		0.028	-0.043		0.400		
142068	6503	53.5	0.54	1	4	0	0	0		0.00		0.028	-0.043		0.400		-0.184
142668	7103	52.1	0.55	1	2	0	0	0				0.028	-0.043				
142668	7103	52.1	0.55	1	3	0	0	0				0.028	-0.043				-20.433
162337	26772	7.2	0.27	1	3	0	0	0	0.04		0.00	0.016		0.000			
162337	26772	7.2	0.27	1	4	0	0	0	0.04		0	0.016		0.000		0.029	0.000
162338	26775	7.2	0.27	1	4	0	0	0	0.40	0.48		0.016		0.000	0.000		0.018
162338	26775	7.2	0.27	1	5	0	0	0	0.40	0.48	0	0.016		0.000	0.000	7.946	0.018
162636	27071	6.5	0.26	1	2	0	0	0	0.00			0.012		0.171			
162636	27071	6.5	0.26	1	3	0	0	0	0.00			0.012		0.171		5.753	
162638	27073	6.5	0.26	1	3	0	0	0	0.00	0.98		0.012		0.000	0.173		
162638	27073	6.5	0.26	1	4	0	0	0	0.00	0.98		0.012		0.000	0.173	-0.169	
162755	27190	6.2	0.26	1	2	0	0	0	0.00			0.012			-0.004		
162755	27190	6.2	0.26	1	3	0	0	0	0.00			0.012			-0.004	5.725	
162755	27190	6.2	0.26	1	3	0	0	0	0.00			0.012			-0.004		-0.141
162755	27190	6.2	0.26	1	4	0	0	0	0.00			0.012			-0.004	5.725	-0.141
163166	27601	5.3	0.21	1	1	0	0	0				0.012					
163166	27601	5.3	0.21	1	2	0	0	0				0.012				5.856	
163166	27601	5.3	0.21	1	2	0	0	0				0.012					5.856
163166	27601	5.3	0.21	1	3	0	0	0				0.012				5.856	5.856
163626	28061	4.3	0.23	2	3	0	0	0	0.00		0.00	0.010		0.000			0.000
163626	28061	4.3	0.23	2	4	0	0	0	0.00		0	0.010		0.000		-0.084	0.000
163628	28063	4.3	0.23	2	4	0	0	0	0.00	0.90		0.010		0.000	0.000		-0.086
163628	28063	4.3	0.23	2	5	0	0	0	0.00	0.90	0	0.010		0.000	0.000	0.010	-0.086
163666	28101	4.2	0.23	2	2	0	0	0	0.00			0.008		0.000			
163666	28101	4.2	0.23	2	3	0	0	0	0.00			0.008		0.000		0.008	
163667	28102	4.2	0.23	2	3	0	0	0	0.00	0.87		0.008		0.000	0.000		
163667	28102	4.2	0.23	2	4	0	0	0	0.00	0.87		0.008		0.000	0.000	-0.168	
163778	28213	3.9	0.22	2	2	0	0	0	0.00			0.008			-0.004		
163778	28213	3.9	0.22	2	3	0	0	0	0.00			0.008			-0.004	0.008	
163778	28213	3.9	0.22	2	3	0	0	0	0.00			0.008			-0.004		-0.144
163778	28213	3.9	0.22	2	4	0	0	0	0.00			0.008			-0.004	0.008	-0.144
164204	28639	2.9	0.17	2	1	0	0	0				0.009					
164204	28639	2.9	0.17	2	2	0	0	0				0.009				0.009	
164204	28639	2.9	0.17	2	2	0	0	0				0.009					0.009
164204	28639	2.9	0.17	2	3	0	0	0				0.009				0.009	0.009

Tabla D.53: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_02

AIC	Δ AIC	Estadísticos				P-value						Beta				
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo
132838	0	75	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.068	0.005	-0.051	-0.064	0.000
132877	39	74	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.068	0.005	-0.047	-0.059	
132892	54	74	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.069		-0.054	97.062	
132892	54	74	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.069		-0.054	97.062	-0.000
134466	1628	71	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.027	0.010		-0.016	0.027
134630	1792	70	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.020	0.011		28.557	
134722	1884	70	1	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.021			-0.053	
134722	1884	70	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.021			-0.053	0.021
134987	2149	70	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.075	-0.039	-0.042		0.075
135376	2538	69	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.075	-0.049	-0.052		
136181	3343	67	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.041	-0.029			-0.029
137561	4723	64	1	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.022	-0.048			
162858	30020	6	0	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.046		64.962		
162858	30020	6	0	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.046		64.962		0.046
164204	31366	3	0	0	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.009				
164204	31366	3	0	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.009				0.009

Tabla D.54: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_02 (II)

AIC	Δ AIC	Estadísticos				P-value							Beta				
		R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HvD	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo
147806	0	61.5	0.81	2	5	0	0	0	0.00			0.041	-0.022	-0.001		0.000	0.041
147808	2	61.5	0.81	2	6	0	0	0	0.01	0.88	0	0.041	-0.022	-0.001	0.000	0.000	0.000
147852	46	61.4	0.81	2	4	0	0	0	0.00			0.039	-0.022	-0.004		0.039	
147854	48	61.4	0.82	2	5	0	0	0	0.00	0.41	0	0.039	-0.022	-0.004	0.000	0.000	
147898	92	61.3	0.82	2	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0.039	-0.022		0.000	0.039	
147898	92	61.3	0.82	2	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0.039	-0.022		0.000	0.039	-0.022
148156	350	60.6	0.80	2	3	0	0	0				0.039	-0.022			-0.022	
148156	350	60.6	0.80	2	4	0	0	0				0.039	-0.022			-0.022	0.000
149155	1349	57.8	0.88	2	4	0	0	0	0.00		0.00	0.022	-0.039	-0.002			-0.039
149156	1350	57.8	0.88	2	5	0	0	0	0.00	0.42	0.00	0.022	-0.039	-0.001	0.000		0.022
149181	1375	57.7	0.88	2	3	0	0	0	0.00			0.021	-0.039	-0.004			
149182	1376	57.7	0.88	2	4	0	0	0	0.00	0.14		0.021	-0.039	-0.003	-0.001		
149215	1409	57.6	0.88	2	3	0	0	0	0.00			0.021	-0.039		0.001		
149215	1409	57.6	0.88	2	4	0	0	0	0.00			0.021	-0.039		0.001		-0.123
149468	1662	56.9	0.86	2	2	0	0	0				0.021	-0.039				
149468	1662	56.9	0.86	2	3	0	0	0				0.021	-0.039				-0.039
151646	5840	50.9	0.71	1	6	0	0	0	0.00	0.02	0	0.045	-0.032	-0.003	-0.001	-0.003	0.000
151647	5841	50.9	0.71	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.045	-0.032	-0.003		0.000	21.018
151649	5843	50.9	0.71	1	5	0	0	0	0.00	0.01	0	0.045	-0.032	-0.003	-0.001	-0.003	
151650	5844	50.9	0.70	1	4	0	0	0	0.00			0.045	-0.032	-0.004		20.952	
151681	5875	50.8	0.71	1	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0.045	-0.032		0.000	20.927	
151681	5875	50.8	0.71	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0.045	-0.032		0.000	20.927	-15.568
151980	4174	49.9	0.70	1	3	0	0	0				0.045	-0.032			-15.569	
151980	4174	49.9	0.70	1	4	0	0	0				0.045	-0.032			-15.569	-0.003
152361	4555	48.9	0.68	1	4	0	0	0	0.01			0.030	-0.035	0.001	0.000		-16.864
152363	4557	48.9	0.68	1	5	0	0	0	0.02	0.53	0.00	0.030	-0.035	0.001	0.000		14.534
152528	4722	48.4	0.66	1	3	0	0	0	0.00			0.026	-0.035	-0.0			

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

Estadísticos		P-value										Beta							
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
152817	5011	47.6	0.66	1	2	0	0	0					0.026	-0.035					
152817	5011	47.6	0.66	1	3	0	0	0					0.026	-0.035					-16.788
166775	18969	8.8	0.51	1	3	0	0		0.00			0.00	0.017		0.000				0.000
166775	18969	8.8	0.51	1	4	0	0		0.00		0		0.017		0.000		0.058		0.000
166777	18971	8.8	0.51	1	4	0	0		0.00	0.74		0.00	0.017		0.000	0.000			0.063
166777	18971	8.8	0.51	1	5	0	0		0.00	0.74	0		0.017		0.000	0.000	8.346		0.063
166992	19186	8.2	0.50	1	2	0	0		0.00				0.013		0.191				
166992	19186	8.2	0.50	1	3	0	0		0.00	0.22			0.013		-0.001	0.195			
166992	19186	8.2	0.50	1	3	0	0		0.00				0.013		0.191				6.437
166992	19186	8.2	0.50	1	4	0	0		0.00	0.22			0.013		-0.001	0.195			-0.098
167028	19222	8.1	0.50	1	2	0	0		0.00				0.013		-0.003				
167028	19222	8.1	0.50	1	3	0	0		0.00				0.013		-0.003				6.415
167028	19222	8.1	0.50	1	3	0	0		0.00				0.013		-0.003				-0.103
167028	19222	8.1	0.50	1	4	0	0		0.00				0.013		-0.003				-0.103
167225	19419	7.5	0.27	1	1	0	0						0.013						
167225	19419	7.5	0.27	1	2	0	0						0.013						6.485
167225	19419	7.5	0.27	1	2	0	0						0.013						6.483
167225	19419	7.5	0.27	1	3	0	0						0.013						6.483
167987	20181	5.4	0.26	2	3	0	0		0.01			0.00	0.012		0.000				0.000
167987	20181	5.4	0.26	2	4	0	0		0.01		0		0.012		0.000				-0.036
167988	20182	5.4	0.26	2	4	0	0		0.35	0.26		0.00	0.012		-0.001	0.000			-0.019
167988	20182	5.4	0.26	2	5	0	0		0.35	0.26	0		0.012		-0.001	0.000	0.012		-0.019
168017	20211	5.5	0.26	2	3	0	0		0.00	0.14			0.010		-0.001	0.000			
168017	20211	5.5	0.26	2	4	0	0		0.00	0.14			0.010		-0.001	0.000	-0.092		
168018	20212	5.5	0.26	2	2	0	0		0.00				0.010		0.000				
168018	20212	5.5	0.26	2	3	0	0		0.00				0.010		0.000				0.010
168047	20241	5.2	0.26	2	2	0	0			0.00			0.010		-0.003				
168047	20241	5.2	0.26	2	3	0	0			0.00			0.010		-0.003				0.010
168047	20241	5.2	0.26	2	3	0	0			0.00			0.010		-0.003				-0.104
168047	20241	5.2	0.26	2	4	0	0			0.00			0.010		-0.003				-0.104
168247	20441	4.7	0.23	2	1	0	0						0.010						
168247	20441	4.7	0.23	2	2	0	0						0.010						0.010
168247	20441	4.7	0.23	2	2	0	0						0.010						0.010
168247	20441	4.7	0.23	2	3	0	0						0.010						0.010

Tabla D.55: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_022

Estadísticos		P-value										Beta				
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo
145277	0	69	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.064	0.011	-0.045	-0.058	0.000
145279	2	69	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.064	0.011	-0.044	-0.056	
145385	108	68	1	0	3	0.00	0.00		0.00	0.00		0.066		-0.045	92.556	
145385	108	68	1	0	4	0.00	0.00		0.00	0.00		0.066		-0.045	92.556	-0.000
146590	1313	65	1	0	4	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.027	0.016		-0.017	0.027
146794	1517	64	1	0	3	0.00	0.00	0.00		0.00		0.019	0.016		26.337	
147010	1733	64	1	0	2	0.00	0.00			0.00		0.020			-0.044	
147010	1733	64	1	0	3	0.00	0.00			0.00		0.020			-0.044	0.020
147181	1904	65	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.071	-0.030	-0.038		0.071
147660	2383	62	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00			0.069	-0.041	-0.048		
148156	2879	61	1	0	3	0.00	0.00	0.00			0.00	0.039	-0.022			-0.022
149468	4191	57	1	0	2	0.00	0.00	0.00				0.021	-0.039			
167158	21881	8	0	0	2	0.00	0.00		0.00			0.045		65.591		0.045
167158	21881	8	0	0	3	0.00	0.00		0.00			0.045		65.591		0.045
168247	22970	5	0	0	1	0.00	0.00					0.010				
168247	22970	5	0	0	2	0.00	0.00					0.010				0.010

Tabla D.56: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_022 (II)

Estadísticos		P-value										Beta						
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
150131	0	61.0	0.78	2	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.039	-0.018	-0.001	-0.001	0.000	0.000
150134	3	61.0	0.78	2	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.039	-0.018	-0.002	-0.002	0.000	0.039
150151	20	61.0	0.78	2	5	0	0	0	0.00	0.00	0		0.037	-0.019	-0.005	-0.001	0.000	
150156	25	61.0	0.78	2	4	0	0	0	0.00		0		0.037	-0.019	-0.004		0.037	
150185	54	60.9	0.78	2	4	0	0	0		0.00	0		0.037	-0.019		0.000	0.037	
150185	54	60.9	0.78	2	5	0	0	0		0.00	0		0.037	-0.019		0.000	0.037	-0.019
150555	424	59.9	0.77	2	3	0	0	0			0		0.037	-0.018			-0.018	
150555	424	59.9	0.77	2	4	0	0	0			0		0.037	-0.018			-0.018	0.000
151917	1786	56.3	0.85	2	5	0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.018	-0.038	-0.002	-0.002	0.018	0.018
151920	1789	56.2	0.85	2	4	0	0	0	0.00	0.00			0.017	-0.038	-0.005	-0.002		
151926	1795	56.2	0.85	2	4	0	0	0	0.00			0.00	0.018	-0.038	-0.005			-0.058
151951	1800	56.2	0.85	2	3	0	0	0	0.00				0.017	-0.038	-0.004			
151943	1812	56.2	0.85	2	3	0	0	0		0.00			0.017	-0.038		0.001		
151943	1812	56.2	0.85	2	4	0	0	0		0.00			0.017	-0.038		0.001		-0.142
152351	2220	55.1	0.84	2	2	0	0	0					0.017	-0.038				
152351	2220	55.1	0.84	2	3	0	0	0					0.017	-0.038				-0.058
154843	4712	48.4	0.68	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0		0.042	-0.029	-0.002	-0.005	-0.005	
154845	4714	48.4	0.68	1	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0.85	0.042	-0.029	-0.002	-0.005	-0.005	0.000
154857	4726	48.4	0.68	1	4	0	0	0		0.00	0		0.042	-0.029		0.000	20.506	
154857	4726	48.4	0.68	1	5	0	0	0		0.00	0		0.042	-0.029		0.000	20.506	-14.102
154867	4736	48.4	0.68	1	4	0	0	0	0.00	0			0.042	-0.029	-0.004		20.514	
154869	4738	48.4	0.68	1	5	0	0	0	0.00		0	0.52	0.042	-0.029	-0.004		0.000	20.535
155309	5178	47.2	0.68	1	3	0	0	0			0		0.042	-0.029			-14.031	
155309	5178	47.2	0.68	1	4	0	0	0			0		0.042	-0.029			-14.031	-0.005
156055	5922	45.2	0.64	1	5	0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.025	-0.052		-0.002	12.232	
156064	5935	45.2	0.64	1	4	0	0	0	0.41			0.00	0.025	-0.052	0.000		-15.595	
156225	6094	44.7	0.62	1	4	0	0	0	0.00	0.00			0.022	-0.052	-0.002	-0.005		
156237	6106	44.7	0.62	1	3	0	0	0		0.00			0.022	-0.052		0.520		
156237	6106	44.7	0.62	1	4	0	0	0		0.00			0.022	-0.052		0.520		-0.144
156246	6115	44.7	0.62	1	4	0	0	0	0.00				0.022	-0.052	-0.004			
156661	6530	45.6	0.62	1	2	0	0	0					0.022	-0.052				
156661	6530	45.6	0.62	1	3	0	0	0					0.022	-0.052				
170267	20136	7.2	0.28	1	3	0	0	0	</									

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
170565	20434	6.4	0.27	1	4	0	0	0.00	0.09				0.011		-0.001	0.160	-0.091	
170566	20435	6.4	0.27	1	2	0	0	0.00					0.011		0.158			
170566	20435	6.4	0.27	1	3	0	0	0.00					0.011		0.158		5.300	
170601	20470	6.3	0.27	1	2	0	0		0.00				0.011			-0.005		
170601	20470	6.3	0.27	1	3	0	0		0.00				0.011			-0.005	5.279	
170601	20470	6.3	0.27	1	3	0	0		0.00				0.011			-0.005		-0.102
170601	20470	6.3	0.27	1	4	0	0		0.00				0.011			-0.005	5.279	-0.102
170837	20706	5.7	0.23	1	1	0	0						0.011					
170837	20706	5.7	0.23	1	2	0	0						0.011				5.368	
170837	20706	5.7	0.23	1	2	0	0						0.011					5.368
170837	20706	5.7	0.23	1	3	0	0						0.011				5.368	5.368
171523	21592	3.9	0.23	2	4	0	0	0.21	0.15		0.00		0.009		-0.001	0.000	0.000	-0.024
171523	21592	3.9	0.23	2	5	0	0	0.21	0.15	0			0.009		-0.001	0.000	0.009	-0.024
171524	21593	3.8	0.23	2	3	0	0	0.00			0.00		0.009		0.000		0.000	0.000
171524	21593	3.8	0.23	2	4	0	0	0.00			0		0.009		0.000		-0.044	0.000
171553	21422	3.8	0.22	2	3	0	0	0.00	0.07				0.007		-0.001	0.000		
171553	21422	3.8	0.22	2	4	0	0	0.00	0.07				0.007		-0.001	0.000	-0.090	
171555	21424	3.8	0.22	2	2	0	0	0.00					0.007		0.000			
171555	21424	3.8	0.22	2	3	0	0	0.00					0.007		0.000		0.007	
171587	21456	3.7	0.22	2	2	0	0		0.00				0.007			-0.003		
171587	21456	3.7	0.22	2	3	0	0		0.00				0.007			-0.003	0.007	
171587	21456	3.7	0.22	2	3	0	0		0.00				0.007			-0.003		-0.106
171587	21456	3.7	0.22	2	4	0	0		0.00				0.007			-0.003	0.007	-0.106
171836	21705	3.0	0.19	2	1	0	0						0.008					
171836	21705	3.0	0.19	2	2	0	0						0.008				0.008	
171836	21705	3.0	0.19	2	2	0	0						0.008					0.008
171836	21705	3.0	0.19	2	3	0	0						0.008				0.008	0.008

**Tabla D.57:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_023

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd:Vo	
146815	0	70	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.059	0.019	-0.044	-0.063			
146817	2	70	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.059	0.019	-0.044	-0.064	0.000		
147180	365	69	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.062		-0.044	87.408			
147180	365	69	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.062		-0.044	87.408	-0.000		
148268	1453	66	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.023	0.023	-0.017	-0.017	0.023		
148528	1713	65	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.015	0.024		20.984			
149074	2259	64	1	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.016			-0.042			
149074	2259	64	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.016			-0.042	0.016		
149526	2711	63	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.067	-0.026	-0.036		0.067		
150513	3498	61	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.065	-0.039	-0.047				
150555	3740	60	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	-0.018			-0.018		
152351	5536	55	1	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.017	-0.038					
170547	23732	6	0	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.043		60.359				
170547	23732	6	0	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.043		60.359		0.043		
171836	25021	3	0	0	1	0.00	0.00					0.008						
171836	25021	3	0	0	2	0.00	0.00					0.008				0.008		

**Tabla D.58:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_023 (II)

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
127438	0	44.3	0.46	2	6	0	0	0	0.07	0	0	0.00	0.056	-0.019	0.002	-0.006	0.000	0.000
127471	33	44.2	0.46	2	5	0	0	0	0.08	0	0		0.053	-0.020	-0.001	-0.006	0.000	
127472	34	44.2	0.46	2	4	0	0	0		0	0		0.053	-0.020		-0.000	0.053	
127472	34	44.2	0.46	2	5	0	0	0		0	0		0.053	-0.020		0.000	0.053	-0.020
127483	45	44.2	0.45	2	5	0	0	0.00			0.00		0.057	-0.019	-0.003		0.000	0.057
127523	85	44.1	0.46	2	4	0	0	0	0.00		0		0.053	-0.019	-0.007		0.053	
127968	530	42.9	0.44	2	3	0	0	0			0		0.054	-0.019			-0.019	
127968	530	42.9	0.44	2	4	0	0	0			0		0.054	-0.019			-0.019	0.000
129158	1720	39.7	0.49	2	5	0	0	0.01	0		0.00		0.024	-0.051	0.002	-0.008	0.024	
129169	1731	39.7	0.48	2	3	0	0	0			0		0.022	-0.051		0.001		
129169	1731	39.7	0.48	2	4	0	0	0			0		0.022	-0.051		0.001		-0.257
129171	1733	39.7	0.48	2	4	0	0	0	0.83	0			0.022	-0.051	0.000	-0.008		
129233	1795	39.5	0.48	2	4	0	0	0	0.00	0.00	0.00		0.024	-0.051	-0.004			-0.051
129252	1814	39.5	0.48	2	3	0	0	0	0.00				0.022	-0.051	-0.007			
129696	2258	38.3	0.47	2	2	0	0	0					0.022	-0.050				
129696	2258	38.3	0.47	2	3	0	0	0					0.022	-0.050				-0.050
131975	4537	32.2	0.37	1	4	0	0	0		0	0		0.058	-0.037		0.000	28.160	
131975	4537	32.2	0.37	1	5	0	0	0		0	0		0.058	-0.037		0.000	28.160	-17.828
131975	4537	32.2	0.37	1	6	0	0	0	0.21	0	0	0.08	0.058	-0.037	0.001	-0.008	-0.005	0.000
131977	4539	32.2	0.37	1	5	0	0	0	0.71	0	0		0.058	-0.037	0.000	-0.008	-0.005	
132064	4626	32.0	0.37	1	5	0	0	0	0.00	0	0	0.01	0.059	-0.037	-0.006	-0.000	0.000	28.334
132070	4652	32.0	0.37	1	4	0	0	0	0.00	0	0		0.058	-0.037	-0.007		28.219	
132538	5100	30.7	0.36	1	3	0	0	0			0		0.058	-0.037			-17.775	
132538	5100	30.7	0.36	1	4	0	0	0			0		0.058	-0.037			-17.775	
133084	5646	29.3	0.35	1	5	0	0	0.00	0		0.00		0.054	-0.042	0.008	-0.008		16.257
133163	5725	29.1	0.35	1	4	0	0	0	0.01	0	0.00		0.054	-0.042	0.002			-20.189
133309	5871	28.7	0.34	1	3	0	0	0		0			0.028	-0.042		0.401		
133309	5871	28.7	0.34	1	4	0	0	0	0.21	0			0.028	-0.042	0.001	-0.009		
133309	5871	28.7	0.34	1	4	0	0	0		0			0.028	-0.042		0.401		-0.254
133411	5973	28.4	0.35	1	3	0	0	0	0.00				0.028	-0.042	-0.007			
133836	6398	27.3	0.32	1	2	0	0	0					0.028	-0.042				
133836	6398	27.3	0.32	1	3	0	0	0					0.028	-0.042				-20.051
141868	14450	5.9	0.20	1	4	0	0	0.00	0		0.00		0.020		-0.005	0.000		0.223
141868	14450	5.9	0.20	1	5	0	0	0.00	0		0.00		0.020		-0.005	0.000	9.851	0.223
141913	14475	5.8	0.19	1	3	0	0	0.00			0.00		0.021		0.000			0.000
141913	14475	5.8	0.19	1	4	0	0	0.00			0		0.021		0.000		0.077	0.000
142119	14681	5.2	0.19	1	2	0	0			0			0.014			-0.007		
142119	14681	5.2	0.19	1	3	0	0			0			0.014			-0.007	6.850	
142119	14681	5.2	0.19	1	3	0	0			0			0.014			-0.007		-0.220
142119	14681	5.2	0.19	1	4	0												

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

		Estadísticos					P-value							Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
142545	15107	4.1	0.15	1	1	0	0						0.015						
142545	15107	4.1	0.15	1	2	0	0						0.015				7.051		
142545	15107	4.1	0.15	1	2	0	0						0.015					7.051	
142545	15107	4.1	0.15	1	3	0	0						0.015					7.051	
142871	15433	3.2	0.16	2	4	0	0		0.05	0		0.00	0.012		-0.006	0.000		0.080	
142871	15433	3.2	0.16	2	5	0	0		0.05	0	0		0.012		-0.006	0.000	0.012	0.080	
142891	15453	3.2	0.16	2	2	0	0						0.009			-0.007			
142891	15453	3.2	0.16	2	3	0	0						0.009			-0.007	0.009		
142891	15453	3.2	0.16	2	3	0	0						0.009			-0.007		-0.226	
142891	15453	3.2	0.16	2	4	0	0						0.009			-0.007	0.009	-0.226	
142895	15455	3.2	0.16	2	3	0	0		0.71	0			0.009		-0.006	0.000			
142895	15455	3.2	0.16	2	4	0	0		0.71	0			0.009		-0.006	0.000	-0.013		
142958	15500	3.1	0.15	2	3	0	0		0.00			0.00	0.012		0.000			0.000	
142958	15500	3.1	0.15	2	4	0	0		0.00		0		0.012		0.000		-0.099	0.000	
142966	15528	3.0	0.15	2	2	0	0		0.00				0.009		0.000				
142966	15528	3.0	0.15	2	3	0	0		0.00				0.009		0.000		0.009		
143338	15900	2.0	0.11	2	1	0	0						0.010						
143338	15900	2.0	0.11	2	2	0	0						0.010				0.010		
143338	15900	2.0	0.11	2	2	0	0						0.010					0.010	
143338	15900	2.0	0.11	2	3	0	0						0.010				0.010	0.010	

Tabla D.59: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_024

		Estadísticos					P-value							Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	
123269	0	55	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.084	0.055	-0.070	-0.120	0.000			
123291	22	55	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.085	0.055	-0.066	-0.115				
124387	1118	52	1	0	3	0.00	0.00		0.00	0.00		0.095		-0.060	130.873				
124387	1118	52	1	0	4	0.00	0.00		0.00	0.00		0.095		-0.060	130.873			-0.000	
124720	1451	52	0	0	4	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.029	0.062		-0.022	0.029			
124875	1606	51	0	0	3	0.00	0.00	0.00		0.00		0.019	0.062		26.295				
126276	3007	47	0	0	2	0.00	0.00			0.00		0.022			-0.058				
126276	3007	47	0	0	3	0.00	0.00			0.00		0.022			-0.058	0.022			
127003	3734	45	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.098	-0.032	-0.056		0.098			
127691	4422	44	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00			0.095	-0.052	-0.073					
127968	4699	43	0	0	3	0.00	0.00	0.00			0.00	0.054	-0.019					-0.019	
129696	6427	38	0	0	2	0.00	0.00	0.00				0.022	-0.050						
141987	18718	6	0	0	2	0.00	0.00		0.00			0.066		92.269					
141987	18718	6	0	0	3	0.00	0.00		0.00			0.066		92.269				0.066	
143338	20069	2	0	0	1	0.00	0.00					0.010							
143338	20069	2	0	0	2	0.00	0.00					0.010						0.010	

Tabla D.60: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_024 (II)

		Estadísticos					P-value							Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
142355	0	64.3	0.79	2	5	0	0	0	0.00		0	0.00	0.042	-0.025	-0.002		0.000	0.042	
142357	2	64.3	0.79	2	6	0	0	0	0.00	0.25	0	0.00	0.042	-0.025	-0.002	-0.001	0.000	0.000	
142366	31	64.2	0.79	2	4	0	0	0	0.00		0		0.040	-0.025	-0.005		0.040		
142366	31	64.2	0.79	2	5	0	0	0	0.00	0.07	0		0.040	-0.025	-0.004	-0.001	0.000	0.000	
142410	75	64.1	0.79	2	4	0	0	0	0.00		0		0.040	-0.025		0.000	0.040		
142410	75	64.1	0.79	2	5	0	0	0	0.00		0		0.040	-0.025		0.000	0.040	-0.025	
142750	415	65.2	0.78	2	3	0	0	0					0.040	-0.025			-0.024		
142750	415	65.2	0.78	2	4	0	0	0			0		0.040	-0.025			-0.024	0.000	
143890	1555	60.2	0.86	2	5	0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.020	-0.044	-0.002	-0.001	0.000	0.042	
143892	1557	60.2	0.86	2	4	0	0	0	0.00		0.00		0.020	-0.044	-0.005		0.020	-0.044	
143901	1566	60.2	0.86	2	4	0	0	0	0.00	0.00			0.019	-0.045	-0.005	-0.001			
143905	1570	60.2	0.86	2	3	0	0	0	0.00				0.019	-0.045	-0.005				
143951	1596	60.1	0.86	2	3	0	0	0		0.00			0.019	-0.045		0.001			
143951	1596	60.1	0.86	2	4	0	0	0		0.00			0.019	-0.045		0.001		-0.151	
144293	1958	59.1	0.85	2	2	0	0	0					0.019	-0.044					
144293	1958	59.1	0.85	2	3	0	0	0					0.019	-0.044				-0.044	
147234	4899	51.5	0.66	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0		0.045	-0.036	-0.002	-0.003	-0.003		
147236	4901	51.5	0.66	1	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0.38	0.045	-0.036	-0.002	-0.003	-0.003	0.000	
147249	4914	51.4	0.66	1	4	0	0	0	0.00		0.00		0.045	-0.036		0.000	21.838		
147249	4914	51.4	0.66	1	5	0	0	0	0.00		0.00		0.045	-0.036		0.000	21.838	-17.239	
147255	4920	51.4	0.66	1	4	0	0	0	0.00		0		0.045	-0.036	-0.005		21.811		
147256	4921	51.4	0.66	1	5	0	0	0	0.00		0.11		0.045	-0.036	-0.005		0.000	21.848	
147694	5359	50.3	0.66	1	3	0	0	0					0.045	-0.036			-17.192		
147694	5359	50.3	0.66	1	4	0	0	0			0		0.045	-0.036			-17.192	-0.003	
148204	5869	48.9	0.60	1	5	0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.028	-0.039	0.002	-0.002	15.602		
148212	5877	48.9	0.60	1	4	0	0	0	0.75		0.00		0.028	-0.039	0.000		0.020	-18.758	
148359	6024	48.5	0.58	1	4	0	0	0	0.00	0.00			0.024	-0.039	-0.002	-0.003			
148375	6038	48.5	0.57	1	3	0	0	0		0.00			0.024	-0.039		0.359			
148375	6038	48.5	0.57	1	4	0	0	0		0.00			0.024	-0.039		0.359		-0.158	
148376	6041	48.5	0.58	1	3	0	0	0	0.00				0.024	-0.039	-0.005				
148776	6441	47.4	0.57	1	2	0	0	0					0.024	-0.039					
148776	6441	47.4	0.57	1	3	0	0	0			0		0.024	-0.039				-18.681	
164651	22316	5.9	0.25	1	3	0	0	0		0.00		0.00	0.016		0.000		0.078	0.000	
164651	22316	5.9	0.25	1	4	0	0	0		0.00	0		0.016		0.000		0.000	0.000	
164652	22317	5.9	0.25	1	4	0	0	0	0.00	0.38		0.00	0.016		0.000	0.000	0.063		
164652	22317	5.9	0.25	1	5	0	0	0	0.00	0.38	0		0.016		0.000	0.000	7.552	0.063	
164939	22604	5.2	0.24	1	2	0	0	0		0.00			0.011		0.156				
164939	22604	5.2	0.24	1	3	0	0	0		0.00			0.011		0.156		5.245		
164941	22606	5.2	0.24	1	3	0	0	0	0.00	0.82			0.011		0.000	0.159			
164941	22606	5.2	0.24	1	4	0	0	0	0.00	0.82			0.011		0.000	0.159	-0.135		
165003	22668	5.0	0.24	1	2	0	0	0		0.00			0.011			-0.003			
165003	22668	5.0	0.24	1	3	0	0	0		0.00			0.011			-0.003	5.216		
165003	22668	5.0	0.24	1	3	0	0	0		0.00			0.011			-0.003		-0.109	
165003	22668	5.0	0.24	1	4	0	0	0		0.00			0.011			-0.003	5.216	-0.109	
165220	22885	4.4	0.20	1	1	0	0	0					0.011						
165220	22885	4.4	0.20	1	2	0	0	0					0.011				5.314		
165220																			

Estadísticos							P-value						Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar		coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
165722	23587	3.1	0.20	2	5		0	0		0.05	0.80	0		0.009		0.000	0.000	0.009	-0.045
165759	23424	3.0	0.20	2	2		0	0		0.00				0.007		0.000			
165759	23424	3.0	0.20	2	3		0	0		0.00				0.007		0.000		0.007	
165761	23426	3.0	0.20	2	3		0	0		0.00	0.97			0.007		0.000	0.000		
165761	23426	3.0	0.20	2	4		0	0		0.00	0.97			0.007		0.000	0.000	-0.151	
165816	23481	2.9	0.20	2	2		0	0		0.00				0.007			-0.005		
165816	23481	2.9	0.20	2	3		0	0		0.00				0.007			-0.005	0.007	
165816	23481	2.9	0.20	2	3		0	0		0.00				0.007			-0.005		-0.112
165816	23481	2.9	0.20	2	4		0	0		0.00				0.007			-0.005	0.007	-0.112
166044	23709	2.3	0.16	2	1		0	0						0.007					
166044	23709	2.3	0.16	2	2		0	0						0.007				0.007	
166044	23709	2.3	0.16	2	2		0	0						0.007					0.007
166044	23709	2.3	0.16	2	3		0	0						0.007				0.007	0.007

**Tabla D.61:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_025

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar		coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	
139797	0	71	1	0	4		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.063	0.013		-0.046	-0.063	
139799	2	71	1	0	5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.063	0.012		-0.045	-0.063	-0.000
139917	120	71	1	0	3		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.065			-0.051	91.661	
139917	120	71	1	0	4		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.065			-0.051	91.661	-0.000
141009	1212	68	1	0	4		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.026	0.016			-0.020	0.026
141273	1476	67	1	0	3		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.017	0.017			23.700	
141491	1694	66	1	0	2		0.00	0.00					0.018				-0.050	
141491	1694	66	1	0	3		0.00	0.00			0.00		0.018				-0.050	0.018
141894	2097	65	1	0	4		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.071	-0.032		-0.037		0.071
142551	2754	64	1	0	3		0.00	0.00	0.00	0.00			0.069	-0.046		-0.049		
142750	2953	63	1	0	3		0.00	0.00	0.00			0.00	0.040	-0.025				-0.024
144293	4496	59	1	0	2		0.00	0.00	0.00				0.019	-0.044				
164948	25151	5	0	0	2		0.00	0.00		0.00			0.044		61.718			
164948	25151	5	0	0	3		0.00	0.00	0.00				0.044		61.718			0.044
166044	26247	2	0	0	1		0.00	0.00					0.007					
166044	26247	2	0	0	2		0.00	0.00					0.007					0.007

**Tabla D.62:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_025 (II)

Estadísticos							P-value						Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar		coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
118483	0	34.0	0.39	2	6		0	0	0	0.35	0.00	0	0.00	0.052	-0.027	0.001	-0.006	0.000	0.000
118517	34	33.9	0.38	2	5		0	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.053	-0.026	-0.004		0.000	0.053
118539	56	33.9	0.39	2	5		0	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.048	-0.027	-0.003	-0.006	0.000	0.000
118551	68	33.9	0.39	2	4		0	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.048	-0.027		0.000	0.048	
118551	68	33.9	0.39	2	5		0	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.048	-0.027		0.000	0.048	-0.027
118581	98	33.8	0.39	2	4		0	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.048	-0.027	-0.009		0.048	
119144	661	32.6	0.38	2	3		0	0	0				0.048	-0.027			-0.027		
119144	661	32.6	0.38	2	4		0	0	0				0.048	-0.027			-0.027	0.000	
119786	1303	31.2	0.40	2	5		0	0	0	0.22	0.00	0.00	0.021	-0.056	0.002	-0.007		0.021	
119817	1354	31.2	0.40	2	4		0	0	0	0.05	0.00		0.018	-0.057	-0.002	-0.007			
119820	1337	31.2	0.40	2	3		0	0	0		0.00		0.018	-0.057		0.001			
119820	1337	31.2	0.40	2	4		0	0	0		0.00		0.018	-0.057		0.001			
119838	1355	31.1	0.40	2	4		0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.022	-0.056	-0.004			-0.512	
119875	1392	31.1	0.40	2	3		0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.018	-0.056	-0.009			-0.056	
120437	1954	29.9	0.39	2	2		0	0	0				0.019	-0.056					
120437	1954	29.9	0.39	2	3		0	0	0				0.019	-0.056				-0.056	
122394	3911	25.7	0.32	1	6		0	0	0	0.78	0.00	0	0.00	0.060	-0.042	0.000	-0.008	-0.006	0.000
122408	3925	25.7	0.31	1	5		0	0	0	0.12	0.00	0	0.060	-0.042	-0.002	-0.008	-0.006		
122409	3926	25.7	0.31	1	4		0	0	0		0.00	0	0.060	-0.042		0.000	28.877		
122409	3926	25.7	0.31	1	5		0	0	0		0.00	0	0.060	-0.042		0.000	28.877	-20.247	
122462	3979	25.6	0.32	1	5		0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.060	-0.042	-0.006		0.000	29.189	
122483	4000	25.6	0.31	1	4		0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.060	-0.042	-0.009		28.957		
123089	4606	24.3	0.31	1	3		0	0	0			0	0.059	-0.042			-20.114		
123089	4606	24.3	0.31	1	4		0	0	0			0	0.059	-0.042			-20.114	-0.006	
123579	5096	23.2	0.28	1	5		0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.032	-0.048	0.009	-0.007		15.651	
123638	5155	23.1	0.28	1	4		0	0	0	0.01	0.00	0.00	0.033	-0.048	0.002			-23.048	
123886	5403	22.6	0.26	1	3		0	0	0		0.00		0.025	-0.048		0.357			
123886	5403	22.6	0.26	1	4		0	0	0		0.00		0.025	-0.048		0.357		-0.311	
123887	5404	22.6	0.26	1	4		0	0	0	0.45	0.00		0.025	-0.048	-0.001	-0.009			
123969	5486	22.4	0.26	1	3		0	0	0	0.00	0.00		0.025	-0.048	-0.009				
124518	6035	21.2	0.25	1	2		0	0	0				0.025	-0.047					
124518	6035	21.2	0.25	1	3		0	0	0				0.025	-0.047				-22.877	
135278	14795	2.7	0.15	1	4		0	0	0	0.00	0.03	0	0.016		-0.003	0.000		0.197	
135278	14795	2.7	0.15	1	5		0	0	0	0.00	0.03	0	0.016		-0.003	0.000	7.951	0.197	
135290	14807	2.7	0.15	1	3		0	0	0		0.00	0.00	0.017		0.000			-0.001	
135290	14807	2.7	0.15	1	4		0	0	0		0.00	0	0.017		0.000		0.111	-0.001	
135638	15155	2.0	0.12	1	3		0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.008		-0.004	0.120			
135638	15155	2.0	0.12	1	4		0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.008		-0.004	0.120	-0.146		
135638	15155	2.0	0.12	1	2		0	0	0				0.008		0.121				
135638	15155	2.0	0.12	1	3		0	0	0				0.008		0.121		4.026		
135666	15185	1.9	0.12	1	2		0	0	0		0.00		0.008			-0.008			
135666	15185	1.9	0.12	1	3		0	0	0		0.00		0.008			-0.008	5.949		
135666	15185	1.9	0.12	1	5		0	0	0		0.00		0.008			-0.008		-0.254	
135666	15185	1.9	0.12	1	4		0	0	0		0.00		0.008			-0.008	5.949	-0.254	
135941	15458	1.3	0.10	2	4		0	0	0	0.94	0.00	0	0.006		-0.004	0.000	0.006	0.004	
135941	15458	1.3	0.10	2	5		0	0	0	0.94	0.00	0	0.006		-0.004	0.000	0.006	0.004	
135964	15481	1.3	0.10	2	3		0	0	0		0.00	0	0.006		0.000		0.000	0.000	
135964	15481	1.3	0.10	2	4		0	0	0		0.00	0	0.006		0.000		-0.112	0.000	
135982	15499	1.2	0.10	2	3		0	0	0		0.00	0.00	0.005		-0.004	0.000			
135982	15499	1.2	0.10	2	4		0	0	0		0.00	0.00	0.005		-0.004	0.000	-0.135		
134005	15522	1.2	0.10	2	2		0	0	0				0.005			-0.008			
134005	15522	1																	



D.2 Modelos previos configuraciones individuales

Estadísticos							P-value							Beta							
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar		coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd		
134125	15642	0.9	0.07	1	2		0	0						0.009						4.170	4.170
134125	15642	0.9	0.07	1	3		0	0						0.009							4.170
134491	16008	0.2	0.03	2	1		0	0						0.003							
134491	16008	0.2	0.03	2	2		0	0						0.003						0.003	
134491	16008	0.2	0.03	2	2		0	0						0.003							0.003
134491	16008	0.2	0.03	2	3		0	0						0.003						0.003	0.003

Tabla D.63: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_026

Estadísticos							P-value							Beta							
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar		coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd:HVd		
115252	0	41	0	0	5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.086	0.045	-0.076	-0.119		0.000		
115290	38	41	0	0	4		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.086	0.045	-0.071	-0.112				
115875	623	40	0	0	3		0.00	0.00		0.00	0.00			0.093		-0.066	131.450				
115875	623	40	0	0	4		0.00	0.00		0.00	0.00			0.093		-0.066	131.450				-0.000
116649	1397	38	0	0	4		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		0.024	0.053		-0.021		0.024		
116757	1505	38	0	0	3		0.00	0.00	0.00					0.015	0.053		21.545				
117575	2323	36	0	0	2		0.00	0.00			0.00			0.018			-0.064				
117575	2323	36	0	0	3		0.00	0.00			0.00			0.018			-0.064			0.018	
118153	2901	35	0	0	4		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00		0.099	-0.041	-0.063				0.099	
118569	3317	34	0	0	3		0.00	0.00	0.00	0.00				0.098	-0.058	-0.079					
119144	3892	33	0	0	3		0.00	0.00	0.00			0.00		0.048	-0.027						-0.027
120437	5185	30	0	0	2		0.00	0.00	0.00					0.019	-0.056						
133262	18010	3	0	0	2		0.00	0.00		0.00				0.063		87.983					
133262	18010	3	0	0	3		0.00	0.00		0.00				0.063		87.983				0.063	
134491	19239	0	0	0	1		0.00	0.00						0.003							
134491	19239	0	0	0	2		0.00	0.00						0.003							0.003

Tabla D.64: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_026 (II)

Estadísticos							P-value							Beta						
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar		coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
135083	0	68.6	0.78	2	5		0	0	0	0.00		0	0.00	0.046	-0.033	-0.003		0.000	0.046	
135084	1	68.6	0.79	2	6		0	0	0	0.00	0.23	0	0.00	0.045	-0.033	-0.003	-0.001	0.000	0.000	
135113	30	68.5	0.79	2	4		0	0	0	0.00		0	0.00	0.043	-0.033	-0.006		0.043		
135113	30	68.5	0.79	2	5		0	0	0	0.00	0.08	0	0.00	0.043	-0.033	-0.005	-0.001	0.000	0.000	
135184	101	68.3	0.79	2	4		0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.043	-0.033		0.000	0.043		
135184	101	68.3	0.79	2	5		0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.043	-0.033		0.000	0.043	-0.033	
135678	595	67.2	0.77	2	3		0	0	0	0.00		0	0.00	0.044	-0.033				-0.033	
135678	595	67.2	0.77	2	4		0	0	0	0.00		0	0.00	0.044	-0.033				-0.033	
134309	1226	65.7	0.86	2	5		0	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.025	-0.052	-0.003	-0.001	0.000	0.025	
134312	1229	65.7	0.86	2	4		0	0	0	0.00		0.00	0.00	0.026	-0.052	-0.004			-0.052	
134323	1240	65.7	0.86	2	4		0	0	0	0.00	0.00			0.024	-0.052	-0.005	-0.002			
134327	1244	65.6	0.86	2	3		0	0	0	0.00				0.024	-0.052	-0.006				
134374	1291	65.5	0.86	2	3		0	0	0	0.00				0.024	-0.052		0.001			
134374	1291	65.5	0.86	2	4		0	0	0	0.00				0.024	-0.052		0.001			-0.194
134904	1821	64.3	0.84	2	2		0	0	0					0.024	-0.052					
134904	1821	64.3	0.84	2	3		0	0	0					0.024	-0.052					-0.052
138107	5024	56.7	0.63	1	5		0	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.049	-0.044	-0.002	-0.004	-0.003	0.000	
138107	5024	56.7	0.63	1	6		0	0	0	0.00	0.00	0	0.09	0.049	-0.044	-0.002	-0.004	-0.003	0.000	
138116	5033	56.7	0.63	1	4		0	0	0	0.00		0	0.00	0.049	-0.044		0.000	23.846		
138116	5033	56.7	0.63	1	5		0	0	0	0.00		0	0.00	0.049	-0.044		0.000	23.846	-21.015	
138152	5069	56.6	0.62	1	5		0	0	0	0.00		0	0.01	0.049	-0.044	-0.005		0.000	23.817	
138155	5072	56.6	0.62	1	4		0	0	0	0.00		0	0.00	0.049	-0.044	-0.006		23.753		
138771	5688	55.2	0.61	1	3		0	0	0	0.00		0	0.00	0.049	-0.044			-21.028		
138771	5688	55.2	0.61	1	4		0	0	0	0.00		0	0.00	0.049	-0.044			-21.028	-0.003	
138861	5778	55.0	0.58	1	5		0	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.054	-0.047	0.002	-0.003		16.309	
138888	5805	54.9	0.57	1	4		0	0	0	0.00		0.00	0.00	0.054	-0.047	-0.001			-22.472	
139007	5924	54.6	0.57	1	4		0	0	0	0.00	0.00			0.030	-0.047	-0.005	-0.004			
139020	5937	54.6	0.57	1	3		0	0	0	0.00		0.00	0.00	0.030	-0.047		0.439			
139020	5937	54.6	0.57	1	4		0	0	0	0.00		0.00	0.00	0.030	-0.047		0.439		-0.206	
139042	5959	54.5	0.55	1	3		0	0	0	0.00				0.030	-0.047	-0.006				
139631	6548	53.1	0.54	1	2		0	0	0					0.030	-0.047					
139631	6548	53.1	0.54	1	3		0	0	0					0.030	-0.047					-22.428
159163	26080	7.0	0.27	1	3		0	0	0	0.05			0.00	0.018		0.000		0.000	0.000	
159163	26080	7.0	0.27	1	4		0	0	0	0.05		0	0.00	0.018		0.000		0.051	0.000	
159164	26081	7.0	0.27	1	4		0	0	0	0.05	0.38		0.00	0.018		-0.001	0.000		0.047	
159164	26081	7.0	0.27	1	5		0	0	0	0.05	0.38	0	0.00	0.018		-0.001	0.000	8.551	0.047	
159450	26367	6.4	0.26	1	3		0	0	0	0.00	0.25			0.015		-0.001	0.185			
159450	26367	6.4	0.26	1	4		0	0	0	0.00	0.25			0.015		-0.001	0.185		-0.164	
159451	26368	6.4	0.26	1	2		0	0	0	0.00				0.015		0.184			6.161	
159451	26368	6.4	0.26	1	3		0	0	0	0.00				0.015		0.184				
159540	26457	6.2	0.26	1	2		0	0	0	0.00				0.015			-0.005			
159540	26457	6.2	0.26	1	3		0	0	0	0.00				0.015			-0.005		6.095	
159540	26457	6.2	0.26	1	3		0	0	0	0.00				0.015			-0.005		-0.165	
159540	26457	6.2	0.26	1	4		0	0	0	0.00				0.015			-0.005		6.095	
159981	26898	5.1	0.21	1	1</															

Estadísticos							P-value						Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar		coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd

**Tabla D.65:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_03

Estadísticos							P-value						Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar		coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo		
130463	0	75	1	0	5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.075	0.003	-0.057	-0.068	0.000		
130512	49	75	1	0	4		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.075	0.003	-0.053	-0.062			
130516	53	75	1	0	3		0.00	0.00		0.00	0.00		0.076		-0.059	106.717			
130516	53	75	1	0	4		0.00	0.00		0.00	0.00		0.076		-0.059	106.717	-0.000		
132127	1664	71	1	0	4		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.029	0.009		-0.016	0.029		
132271	1808	70	1	0	3		0.00	0.00	0.00		0.00		0.022	0.009		30.980			
132327	1864	70	1	0	2		0.00	0.00			0.00		0.023			-0.058			
132327	1864	70	1	0	3		0.00	0.00			0.00		0.023			-0.058	0.023		
132445	1982	70	1	0	4		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.083	-0.043	-0.048		0.083		
132759	2296	69	1	0	3		0.00	0.00	0.00	0.00			0.083	-0.054	-0.058				
133678	3215	67	1	0	3		0.00	0.00	0.00			0.00	0.044	-0.033			-0.033		
134904	4441	64	1	0	2		0.00	0.00	0.00				0.024	-0.052					
159653	29190	6	0	0	2		0.00	0.00		0.00			0.050		70.300				
159653	29190	6	0	0	3		0.00	0.00		0.00			0.050		70.300		0.050		
160935	30472	3	0	0	1		0.00	0.00					0.009						
160935	30472	3	0	0	2		0.00	0.00					0.009					0.009	

**Tabla D.66:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_03 (II)

Estadísticos							P-value						Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar		coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
129952	0	67.2	0.78	2	5		0	0	0	0.00		0	0.00	0.050	-0.057	-0.004		0.000	0.050
129952	0	67.2	0.78	2	6		0	0	0	0.00	0.04	0	0.00	0.050	-0.057	-0.003	-0.001	0.000	0.000
129978	26	67.1	0.78	2	5		0	0	0	0.00	0.00	0		0.048	-0.038	-0.006	-0.002	0.000	
129980	28	67.1	0.78	2	4		0	0	0	0.00		0		0.048	-0.038	-0.007		0.048	
130043	91	66.9	0.78	2	4		0	0	0		0.00	0		0.048	-0.038		0.000	0.048	
130043	91	66.9	0.78	2	5		0	0	0		0.00	0		0.048	-0.038		0.000	0.048	-0.038
130572	620	65.6	0.76	2	3		0	0	0			0		0.048	-0.038			-0.037	
130572	620	65.6	0.76	2	4		0	0	0			0		0.048	-0.038			-0.037	0.000
131046	1094	64.5	0.85	2	5		0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.028	-0.059	-0.003	-0.002		
131051	1099	64.4	0.85	2	4		0	0	0	0.00		0.00		0.028	-0.059	-0.005		-0.059	
131061	1109	64.4	0.85	2	4		0	0	0	0.00	0.00			0.027	-0.059	-0.005	-0.002		
131068	1116	64.4	0.85	2	3		0	0	0	0.00				0.027	-0.059	-0.007			
131108	1156	64.3	0.85	2	3		0	0	0		0.00			0.027	-0.059		0.001		
131108	1156	64.3	0.85	2	4		0	0	0		0.00			0.027	-0.059		0.001		-0.235
131666	1714	62.9	0.83	2	2		0	0	0					0.027	-0.059				
131666	1714	62.9	0.83	2	3		0	0	0					0.027	-0.059				-0.059
134376	4424	56.2	0.66	1	6		0	0	0	0.00	0.00	0	0.01	0.057	-0.049	-0.003	-0.004	-0.004	0.000
134378	4426	56.2	0.66	1	5		0	0	0	0.00	0.00	0		0.057	-0.049	-0.004	-0.004	-0.004	0.000
134403	4451	56.2	0.65	1	4		0	0	0		0.00	0		0.057	-0.049		0.000	27.534	
134403	4451	56.2	0.65	1	5		0	0	0	0.00		0.00		0.057	-0.049	-0.006		0.000	27.646
134403	4451	56.2	0.65	1	5		0	0	0		0.00	0		0.057	-0.049		0.000	27.534	-23.644
134409	4457	56.1	0.65	1	4		0	0	0	0.00		0		0.057	-0.049	-0.008		27.545	
135087	5135	54.5	0.64	1	3		0	0	0			0		0.056	-0.049			-23.690	
135087	5135	54.5	0.64	1	4		0	0	0			0		0.056	-0.049			-23.690	-0.004
135160	5208	54.3	0.60	1	5		0	0	0	0.00		0.00		0.058	-0.053	0.002	-0.003		
135176	5224	54.2	0.59	1	4		0	0	0	0.01		0.00		0.058	-0.053	-0.001		18.504	-25.448
135326	5374	53.9	0.57	1	4		0	0	0	0.00	0.00			0.053	-0.053	-0.004	-0.004		
135347	5395	53.8	0.57	1	3		0	0	0		0.00			0.053	-0.053		0.491		
135347	5395	53.8	0.57	1	4		0	0	0		0.00			0.053	-0.053		0.491		-0.250
135355	5405	53.8	0.56	1	3		0	0	0	0.00				0.053	-0.053	-0.008			
135996	6044	52.2	0.55	1	2		0	0	0					0.054	-0.053				
135996	6044	52.2	0.55	1	3		0	0	0					0.054	-0.053				-25.448
154346	24394	6.9	0.27	1	3		0	0	0			0.00		0.020		0.000		0.030	0.000
154346	24394	6.9	0.27	1	4		0	0	0	0.11		0		0.020		0.000		0.030	0.000
154348	24396	6.9	0.27	1	4		0	0	0	0.18	0.73		0.00	0.020		0.000	0.000	0.000	0.057
154348	24396	6.9	0.27	1	5		0	0	0	0.18	0.73	0		0.020		0.000	0.000	9.714	0.057
154652	24700	6.2	0.26	1	3		0	0	0	0.00	0.19			0.014		-0.001	0.204		
154652	24700	6.2	0.26	1	4		0	0	0	0.00	0.19			0.014		-0.001	0.204	-0.210	
154653	24701	6.2	0.26	1	2		0	0	0		0.00			0.014		0.202			
154653	24701	6.2	0.26	1	3		0	0	0		0.00			0.014		0.202		6.760	
154758	24806	5.9	0.26	1	2		0	0	0		0.00			0.014			-0.006		
154758	24806	5.9	0.26	1	3		0	0	0		0.00			0.014			-0.006	6.689	
154758	24806	5.9	0.26	1	3		0	0	0		0.00			0.014			-0.006		-0.208
154758	24806	5.9	0.26	1	4		0	0	0		0.00			0.014			-0.006	6.689	-0.208
155276	25324	4.6	0.20	1	1		0	0	0					0.014					
155276	25324	4.6	0.20	1	2		0	0	0					0.014				6.898	
155276	25324	4.6	0.20	1	2		0	0	0					0.014					6.898
155276	25324	4.6	0.20	1	3		0	0	0					0.014				6.898	6.898
155490	25538	4.1	0.23	2	3		0	0	0.00			0.00		0.012		0.000		0.000	0.000
155490	25538	4.1	0.23	2	4		0	0	0.00	0.19		0.00		0.012		-0.001	0.000	-0.100	-0.100
155490	25538	4.1	0.23	2	4		0	0	0.00		0			0.012		0.000		0.000	0.000
155490	25538	4.1	0.23	2	5		0	0	0.00	0.19	0			0.012		-0.001	0.000	0.012	-0.100
155527	25575	4.0	0.23	2	3		0	0	0.00	0.09				0.009		-0.001	0.000		
155527	25575	4.0	0.23	2	4		0	0	0.00	0.09				0.009		-0.001	0.000	-0.203	
155530	25578	4.0	0.23	2	2		0	0	0.00					0.009		0.000			
155530	25578	4.0	0.23	2	3		0	0	0.00					0.009		0.000		0.009	
155621	25669	3.8	0.23	2	2		0	0		0.00				0.009			-0.006		
155621	25669	3.8	0.23	2	3		0	0		0.00				0.009			-0.006	0.009	
155621	25669	3.8	0.23	2	3		0	0		0.00				0.009			-0.006		-0.214
155621	25669	3.8	0.23	2	4		0	0		0.00				0.009			-0.006	0.009	-0.214
156166	26214	2.4	0.16	2	1		0	0	0					0.010					
156166	26214	2.4	0.16	2	2		0	0	0					0.010				0.010	
156166	26214	2.4	0.16	2	2		0	0	0					0.010					0.010
156166	26214	2.4	0.16	2	3		0	0											

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

Estadísticos							P-value					Beta				
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo
127499	0	75	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.086	0.004	-0.066	-0.077	0.000
127544	45	73	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.086	0.003	-0.061	-0.070	
127547	48	73	1	0	3	0.00	0.00		0.00	0.00		0.087		-0.067	121.752	
127547	48	73	1	0	4	0.00	0.00		0.00	0.00		0.087		-0.067	121.752	-0.000
129092	1593	69	1	0	4	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.052	0.010		-0.018	0.052
129217	1718	69	1	0	3	0.00	0.00	0.00		0.00		0.024	0.011		54.140	
129271	1772	69	1	0	2	0.00	0.00			0.00		0.025			-0.066	
129271	1772	69	1	0	3	0.00	0.00			0.00		0.025			-0.066	0.025
129345	1846	69	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.095	-0.049	-0.057		0.095
129617	2118	68	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00			0.094	-0.061	-0.067		
130572	3073	66	1	0	3	0.00	0.00	0.00			0.00	0.048	-0.038			-0.037
131666	4167	65	1	0	2	0.00	0.00	0.00				0.027	-0.059			
154891	27392	6	0	0	2	0.00	0.00		0.00			0.058		81.731		
154891	27392	6	0	0	3	0.00	0.00		0.00			0.058		81.731		0.058
156166	28667	2	0	0	1	0.00	0.00					0.010				
156166	28667	2	0	0	2	0.00	0.00					0.010				0.010

Tabla D.68: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_04 (II)

Estadísticos							P-value					Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
156694	0	64.6	0.80	2	5	0	0	0	0.00		0	0	0.052	-0.050	-0.002		0.000	0.052
156696	2	64.6	0.80	2	6	0	0	0	0.02	0.36	0	0	0.052	-0.050	-0.001	0.000	0.000	0.000
156754	60	64.4	0.80	2	4	0	0	0	0.00		0	0	0.049	-0.050	-0.006		0.049	
156754	60	64.4	0.80	2	5	0	0	0	0.00	0.06	0	0	0.049	-0.050	-0.005	-0.001	0.000	
156801	107	64.3	0.80	2	4	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.048	-0.050		0.000	0.048	
156801	107	64.3	0.80	2	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.048	-0.050		0.000	0.048	-0.030
137123	429	63.4	0.78	2	3	0	0	0			0	0	0.049	-0.050			-0.030	
137123	429	63.4	0.78	2	4	0	0	0			0	0	0.049	-0.050			-0.030	0.000
137932	1238	61.1	0.86	2	5	0	0	0	0.06	0.01		0	0.029	-0.052	-0.001	-0.001		0.029
137933	1239	61.0	0.86	2	4	0	0	0	0.00			0	0.029	-0.052	-0.002			-0.052
137967	1273	61.0	0.86	2	4	0	0	0	0.00	0.00			0.026	-0.052	-0.004	-0.002		
137970	1276	60.9	0.86	2	3	0	0	0	0.00				0.026	-0.052	-0.006			
137998	1304	60.9	0.86	2	3	0	0	0		0.00			0.026	-0.052		0.001		
137998	1304	60.9	0.86	2	4	0	0	0		0.00			0.026	-0.052		0.001		-0.179
138325	1631	59.9	0.85	2	2	0	0	0					0.027	-0.052				
138325	1631	59.9	0.85	2	3	0	0	0					0.027	-0.052				-0.052
140453	3759	53.9	0.71	1	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.056	-0.043	-0.002	-0.003	-0.004	0.000
140462	3768	53.9	0.70	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0.056	-0.043	-0.003	-0.003	-0.004	0.000
140469	3775	53.9	0.70	1	5	0	0	0	0.00		0	0	0.056	-0.043	-0.004		0.000	27.113
140477	3783	53.8	0.71	1	4	0	0	0		0.00	0	0	0.056	-0.043		0.000	26.979	
140477	3783	53.8	0.71	1	5	0	0	0		0.00	0	0	0.056	-0.043		0.000	26.979	-20.644
140481	3787	53.8	0.70	1	4	0	0	0	0.00		0	0	0.056	-0.043	-0.006		26.982	
140896	4202	52.6	0.69	1	3	0	0	0			0	0	0.055	-0.043			-20.635	
140896	4202	52.6	0.69	1	4	0	0	0			0	0	0.055	-0.043			-20.635	-0.004
141155	4461	51.9	0.68	1	5	0	0	0	0.00	0.00		0	0.038	-0.046	0.003	-0.002		18.572
141162	4468	51.9	0.68	1	4	0	0	0	0.02			0	0.038	-0.046	0.001			-22.232
141345	4651	51.4	0.67	1	4	0	0	0	0.00	0.00			0.034	-0.046	-0.003	-0.003		
141357	4663	51.3	0.67	1	3	0	0	0		0.00			0.034	-0.046		0.489		
141357	4663	51.3	0.67	1	4	0	0	0		0.00			0.034	-0.046		0.489		-0.189
141362	4668	51.3	0.66	1	3	0	0	0	0.00				0.034	-0.046	-0.006			
141726	5032	50.3	0.66	1	2	0	0	0					0.034	-0.046				
141726	5032	50.3	0.66	1	3	0	0	0					0.034	-0.046				-22.145
156428	19734	8.6	0.31	1	4	0	0	0	0.22	0.12		0	0.021		0.001	0.000		0.030
156428	19734	8.6	0.31	1	5	0	0	0	0.22	0.12	0	0	0.021		0.001	0.000	10.265	0.030
156429	19735	8.5	0.31	1	3	0	0	0	0.00		0	0	0.021		0.000			0.000
156429	19735	8.5	0.31	1	4	0	0	0	0.00		0	0	0.021		0.000		0.060	0.000
156673	19979	7.8	0.29	1	2	0	0	0	0.00				0.016		0.229			
156673	19979	7.8	0.29	1	3	0	0	0	0.00				0.016		0.229		7.669	
156674	19980	7.8	0.29	1	3	0	0	0	0.00	0.46			0.016		0.000	0.231		
156674	19980	7.8	0.29	1	4	0	0	0	0.00	0.46			0.016		0.000	0.231	-0.188	
156761	20067	7.6	0.29	1	2	0	0	0		0.00			0.016			-0.004		
156761	20067	7.6	0.29	1	3	0	0	0		0.00			0.016			-0.004	7.636	
156761	20067	7.6	0.29	1	3	0	0	0		0.00			0.016			-0.004		-0.141
156761	20067	7.6	0.29	1	4	0	0	0		0.00			0.016			-0.004	7.636	-0.141
156996	20302	6.9	0.26	1	1	0	0	0					0.016					
156996	20302	6.9	0.26	1	2	0	0	0					0.016				7.770	
156996	20302	6.9	0.26	1	2	0	0	0					0.016					7.770
156996	20302	6.9	0.26	1	3	0	0	0					0.016				7.770	7.770
157561	20867	5.3	0.26	2	3	0	0	0	0.00		0	0	0.014		0.000			0.000
157561	20867	5.3	0.26	2	4	0	0	0	0.00		0	0	0.014		0.000		-0.056	0.000
157562	20868	5.3	0.26	2	4	0	0	0	0.00	0.37		0	0.014		0.001	0.000		-0.074
157562	20868	5.3	0.26	2	5	0	0	0	0.00	0.37	0	0	0.014		0.001	0.000	0.014	-0.074
157605	20911	5.2	0.26	2	2	0	0	0					0.012		0.000			
157605	20911	5.2	0.26	2	3	0	0	0					0.012		0.000		0.012	
157607	20913	5.2	0.26	2	3	0	0	0	0.00	0.60			0.012		0.000	0.000		
157607	20913	5.2	0.26	2	4	0	0	0	0.00	0.60			0.012		0.000	0.000	-0.185	
157685	20991	5.0	0.25	2	2	0	0	0		0.00			0.012			-0.004		
157685	20991	5.0	0.25	2	3	0	0	0		0.00			0.012			-0.004	0.012	
157685	20991	5.0	0.25	2	3	0	0	0		0.00			0.012			-0.004		-0.144
157685	20991	5.0	0.25	2	4	0	0	0		0.00			0.012			-0.004	0.012	-0.144
157930	21236	4.3	0.22	2	1	0	0	0					0.012					
157930	21236	4.3	0.22	2	2	0	0	0					0.012				0.012	
157930	21236	4.3	0.22	2	2	0	0	0					0.012					0.012
157930	21236	4.3	0.22	2	3	0	0	0					0.012				0.012	0.012

Tabla D.69: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_042

Estadísticos							P-value					Beta				
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo
134438	0	71	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.080	0.009	-0.058	-0.070	0.000
134446	8	71	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.080	0.008	-0.056	-0.067	
134481	43	71	1	0	3	0.00	0.00		0.00	0.00		0.082		-0.		

Estadísticos							P-value					Beta				
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo
136036	1598	66	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.025	-0.041	-0.050	-0.057	0.025
136126	1688	66	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.090	-0.054	-0.062		0.090
136494	2056	65	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00			0.089	-0.050			
137123	2685	65	1	0	3	0.00	0.00	0.00			0.00	0.049	-0.052			-0.030
138325	3887	60	1	0	2	0.00	0.00	0.00				0.027	-0.052			
156869	22431	7	0	0	2	0.00	0.00		0.00			0.056		78.466		
156869	22431	7	0	0	3	0.00	0.00		0.00			0.056		78.466		0.056
157950	23492	4	0	0	1	0.00	0.00					0.012				
157950	23492	4	0	0	2	0.00	0.00					0.012				0.012

Tabla D.70: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_042 (II)

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:Hvd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:Hvd
124583	0	66.5	0.77	2	6	0	0	0	0.00	0.01	0	0.00	0.062	-0.043	-0.004	-0.002	0.000	0.000
124584	1	66.5	0.77	2	5	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.062	-0.043	-0.005		0.000	0.062
124620	37	66.5	0.78	2	5	0	0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.058	-0.043	-0.007	-0.002	0.000	
124624	41	66.4	0.78	2	4	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.058	-0.043	-0.009		0.058	
124689	106	66.3	0.78	2	4	0	0	0		0.00	0	0.00	0.058	-0.044		0.000	0.058	
124689	106	66.3	0.78	2	5	0	0	0		0.00	0	0.00	0.058	-0.044		0.000	0.058	-0.044
125269	686	64.7	0.75	2	3	0	0	0			0	0.00	0.058	-0.043			-0.043	
125269	686	64.7	0.75	2	4	0	0	0			0	0.00	0.058	-0.043			-0.043	0.000
125716	1133	63.5	0.85	2	5	0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.054	-0.070	-0.004	-0.003	0.000	0.034
125722	1139	63.5	0.85	2	4	0	0	0	0.00			0.00	0.054	-0.070	-0.006			-0.070
125734	1151	63.5	0.85	2	4	0	0	0	0.00	0.00			0.051	-0.070	-0.007	-0.003		
125741	1158	63.5	0.85	2	3	0	0	0	0.00				0.052	-0.070	-0.009			
125788	1205	63.4	0.85	2	3	0	0	0		0.00			0.051	-0.070		0.001		
125788	1205	63.4	0.85	2	4	0	0	0		0.00			0.051	-0.070		0.001		-0.301
126384	1801	61.8	0.82	2	2	0	0	0					0.052	-0.070				
126384	1801	61.8	0.82	2	3	0	0	0					0.052	-0.070				-0.070
128920	4337	55.1	0.67	1	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0.01	0.068	-0.057	-0.004	-0.005	-0.005	0.000
128922	4339	55.1	0.67	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0		0.068	-0.057	-0.005	-0.005	-0.005	
128948	4365	55.0	0.66	1	4	0	0	0		0.00	0		0.068	-0.057		0.000	33.116	
128948	4365	55.0	0.66	1	5	0	0	0		0.00	0		0.068	-0.057		0.000	33.116	-27.594
128951	4368	55.0	0.67	1	5	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.068	-0.057	-0.008		0.000	33.244
128956	4373	55.0	0.67	1	4	0	0	0	0.00		0		0.068	-0.057	-0.010		33.128	
129653	5070	53.1	0.65	1	3	0	0	0			0		0.068	-0.057			-27.597	
129653	5070	53.1	0.65	1	4	0	0	0			0		0.068	-0.057			-27.597	-0.005
129727	5144	52.9	0.61	1	5	0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.045	-0.062	0.002	-0.004		21.768
129746	5163	52.9	0.61	1	4	0	0	0	0.00			0.00	0.045	-0.062	-0.001			-29.907
129895	5312	52.5	0.59	1	4	0	0	0	0.00	0.00			0.039	-0.062	-0.005	-0.005		
129919	5336	52.4	0.59	1	3	0	0	0		0.00			0.039	-0.062		0.571		
129919	5336	52.4	0.59	1	4	0	0	0		0.00			0.039	-0.062		0.571		-0.513
129924	5341	52.4	0.59	1	3	0	0	0	0.00				0.039	-0.062	-0.009			
130575	5992	50.7	0.57	1	2	0	0	0			0		0.039	-0.062				
130575	5992	50.7	0.57	1	3	0	0	0			0		0.039	-0.062				-29.846
147236	22653	6.6	0.26	1	4	0	0	0	0.11	0.21	0	0.00	0.023		-0.001	0.000		0.053
147236	22653	6.6	0.26	1	5	0	0	0	0.11	0.21	0	0.00	0.023		-0.001	0.000	11.128	0.053
147237	22654	6.6	0.26	1	3	0	0	0	0.34		0	0.00	0.023		0.000			-0.001
147237	22654	6.6	0.26	1	4	0	0	0	0.34		0	0.00	0.023		0.000		0.021	-0.001
147520	22937	5.9	0.26	1	3	0	0	0	0.00	0.07			0.016	-0.002	0.229			
147520	22937	5.9	0.26	1	4	0	0	0	0.00	0.07			0.016	-0.002	0.229		-0.247	
147523	22940	5.8	0.26	1	2	0	0	0		0.00			0.016	0.227				
147523	22940	5.8	0.26	1	3	0	0	0	0.00				0.016	0.227			7.647	
147615	23032	5.6	0.26	1	2	0	0	0		0.00			0.016		-0.008			
147615	23032	5.6	0.26	1	3	0	0	0		0.00			0.016		-0.008		7.563	
147615	23032	5.6	0.26	1	3	0	0	0		0.00			0.016		-0.008			-0.261
147615	23032	5.6	0.26	1	4	0	0	0		0.00			0.016		-0.008		7.563	-0.261
148144	23561	4.2	0.19	1	1	0	0	0					0.016					
148144	23561	4.2	0.19	1	2	0	0	0					0.016				7.820	
148144	23561	4.2	0.19	1	2	0	0	0					0.016					7.820
148144	23561	4.2	0.19	1	3	0	0	0					0.016				7.820	7.820
148273	23690	3.9	0.22	2	4	0	0	0	0.00	0.07	0	0.00	0.013		-0.002	0.000		-0.125
148273	23690	3.9	0.22	2	5	0	0	0	0.00	0.07	0	0.00	0.013		-0.002	0.000	0.013	-0.125
148276	23693	3.9	0.22	2	3	0	0	0		0.00		0.00	0.013		0.000		0.000	0.000
148276	23693	3.9	0.22	2	4	0	0	0		0.00	0		0.013		0.000		-0.172	0.000
148304	23721	3.8	0.22	2	3	0	0	0		0.00	0.04		0.010		-0.002	0.000		
148304	23721	3.8	0.22	2	4	0	0	0		0.00	0.04		0.010		-0.002	0.000	-0.244	
148309	23726	3.8	0.22	2	2	0	0	0		0.00			0.010		0.000			
148309	23726	3.8	0.22	2	3	0	0	0	0.00				0.010		0.000		0.010	
148392	23809	3.5	0.22	2	2	0	0	0		0.00			0.010		-0.008			
148392	23809	3.5	0.22	2	3	0	0	0		0.00			0.010		-0.008		0.010	
148392	23809	3.5	0.22	2	3	0	0	0		0.00			0.010		-0.008			-0.268
148392	23809	3.5	0.22	2	4	0	0	0		0.00			0.010		-0.008		0.010	-0.268
148945	24362	2.1	0.14	2	1	0	0	0					0.011					
148945	24362	2.1	0.14	2	2	0	0	0					0.011				0.011	
148945	24362	2.1	0.14	2	2	0	0	0					0.011					0.011
148945	24362	2.1	0.14	2	3	0	0	0					0.011				0.011	0.011

Tabla D.71: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_05

Estadísticos							P-value					Beta				
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo
122373	0	72	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.101	0.007	-0.078	-0.095	0.000
122418	45	72	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.101	0.007	-0.072	-0.086	
122451	58	72	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.102		-0.080	145.494	-0.000
122451	58	72	1	0	4	0.00	0.00		0.00			0.102		-0.080	145.494	-0.000
123812	1459	69	1	0	4	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.059	0.015	-0.022		0.059
123929	1556	68	1	0	5	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.029	0.016		40.665	
124005	1632	68	1	0	2	0.00	0.00			0.00		0.050		-0.078		
124005	1632	68	1	0	3	0.00	0.00			0.00		0.050		-0.078		0.030
124201	1828	68	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.111	-0.057	-0.065		0.111
124489	2116															

Estadísticos						P-value					Beta						
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	
148945	26572	2	0	0	1	0.00	0.00					0.011					
148945	26572	2	0	0	2	0.00	0.00					0.011					0.011

**Tabla D.72:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_05 (II)

Estadísticos						P-value						Beta						
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
121606	0	61.4	0.75	2	5	0	0	0	0.00		0	0.00	0.080	-0.043	-0.005		0.000	0.080
121607	1	61.4	0.75	2	6	0	0	0	0.00	0.15	0	0.00	0.080	-0.043	-0.004	-0.001	0.000	0.000
121629	23	61.3	0.76	2	4	0	0	0	0.00		0	0.00	0.076	-0.044	-0.009		0.076	
121629	23	61.3	0.76	2	5	0	0	0	0.00	0.04	0	0.00	0.076	-0.044	-0.008	-0.002	0.000	0.000
121671	65	61.2	0.76	2	4	0	0	0	0.00		0	0.00	0.076	-0.044		0.000	0.076	
121671	65	61.2	0.76	2	5	0	0	0	0.00		0	0.00	0.076	-0.044		0.000	0.076	-0.044
121972	366	60.2	0.74	2	3	0	0	0			0		0.076	-0.044			-0.044	
121972	366	60.2	0.74	2	4	0	0	0			0		0.076	-0.044			-0.044	0.000
122834	1228	57.6	0.82	2	5	0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.042	-0.081	-0.004	-0.003		0.042
122836	1230	57.6	0.82	2	4	0	0	0	0.00			0.00	0.042	-0.081	-0.006			-0.081
122843	1237	57.6	0.82	2	4	0	0	0	0.00	0.00			0.039	-0.081	-0.007	-0.003		
122847	1241	57.6	0.82	2	3	0	0	0	0.00				0.039	-0.081	-0.009			
122871	1265	57.5	0.82	2	3	0	0	0			0.00		0.039	-0.081		0.001		
122871	1265	57.5	0.82	2	4	0	0	0			0.00		0.039	-0.081		0.001		-0.291
123186	1580	56.5	0.80	2	2	0	0	0					0.040	-0.081				
123186	1580	56.5	0.80	2	3	0	0	0					0.040	-0.081				-0.080
125017	3411	50.9	0.69	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0		0.091	-0.064	-0.006	-0.004	-0.007	
125018	3412	50.9	0.69	1	6	0	0	0	0.00	0.00	0	0.25	0.091	-0.065	-0.005	-0.004	-0.007	0.000
125028	3422	50.9	0.69	1	4	0	0	0	0.00		0		0.091	-0.064	-0.010		44.122	
125028	3422	50.9	0.69	1	5	0	0	0	0.00		0	0.10	0.091	-0.065	-0.009		0.000	44.194
125041	3435	50.8	0.69	1	4	0	0	0		0.00	0		0.091	-0.064		0.000	44.011	
125041	3435	50.8	0.69	1	5	0	0	0		0.00	0		0.091	-0.064		0.000	44.011	-31.019
125429	3823	49.6	0.68	1	3	0	0	0			0		0.090	-0.065			-31.047	
125429	3823	49.6	0.68	1	4	0	0	0			0		0.090	-0.065			-31.047	-0.007
125936	4330	48.1	0.67	1	5	0	0	0	0.00	0.00		0.00	0.057	-0.071	0.003	-0.003		27.737
125940	4334	48.1	0.66	1	4	0	0	0	0.22			0.00	0.057	-0.071	0.001			-34.135
126094	4488	47.6	0.66	1	4	0	0	0	0.00	0.00			0.050	-0.071	-0.005	-0.004		
126105	4499	47.5	0.65	1	3	0	0	0			0.00		0.050	-0.071	-0.009		0.728	
126112	4506	47.5	0.66	1	3	0	0	0			0.00		0.050	-0.071		0.728		
126112	4506	47.5	0.66	1	4	0	0	0			0.00		0.050	-0.071		0.728		-0.305
126465	4859	46.4	0.64	1	2	0	0	0					0.050	-0.071				
126465	4859	46.4	0.64	1	3	0	0	0					0.050	-0.071				-34.042
139115	17509	7.6	0.28	1	3	0	0	0	0.00			0.00	0.052		0.000			-0.001
139115	17509	7.6	0.28	1	4	0	0	0	0.00	0.17		0.00	0.052		-0.001	0.000		0.131
139115	17509	7.6	0.28	1	4	0	0	0	0.00		0		0.052		0.000		0.089	-0.001
139115	17509	7.6	0.28	1	5	0	0	0	0.00	0.17	0		0.052		-0.001	0.000	15.349	0.131
139534	17728	6.9	0.27	1	3	0	0	0	0.00	0.04			0.025		-0.002	0.341		
139534	17728	6.9	0.27	1	4	0	0	0	0.00	0.04			0.025		-0.002	0.341	-0.217	
139537	17731	6.9	0.27	1	2	0	0	0	0.00				0.025		0.338			
139537	17731	6.9	0.27	1	3	0	0	0					0.025		0.338		11.329	
139574	17768	6.8	0.27	1	2	0	0	0			0.00		0.025			-0.008		
139574	17768	6.8	0.27	1	3	0	0	0			0.00		0.025			-0.008	11.233	
139574	17768	6.8	0.27	1	3	0	0	0			0.00		0.025			-0.008		-0.258
139574	17768	6.8	0.27	1	4	0	0	0			0.00		0.025			-0.008	11.233	-0.258
139658	18052	5.9	0.23	1	1	0	0	0					0.024					
139658	18052	5.9	0.23	1	2	0	0	0					0.024				11.443	
139658	18052	5.9	0.23	1	2	0	0	0					0.024					11.443
139658	18052	5.9	0.23	1	3	0	0	0					0.024				11.443	11.443
140175	18569	4.3	0.23	2	4	0	0	0	0.12	0.02		0.00	0.019		-0.003	0.000		-0.067
140175	18569	4.3	0.23	2	5	0	0	0	0.12	0.02	0		0.019		-0.003	0.000	0.019	-0.067
140180	18574	4.3	0.23	2	3	0	0	0	0.00			0.00	0.020		0.000		0.000	0.000
140180	18574	4.3	0.23	2	4	0	0	0	0.00		0		0.020		0.000		-0.141	0.000
140196	18590	4.3	0.23	2	3	0	0	0	0.00	0.01			0.016		-0.003	0.000		
140196	18590	4.3	0.23	2	4	0	0	0	0.00	0.01			0.016		-0.003	0.000	-0.199	
140202	18596	4.2	0.22	2	2	0	0	0					0.016		0.000			
140202	18596	4.2	0.22	2	3	0	0	0					0.016		0.000		0.016	
140228	18622	4.2	0.23	2	2	0	0	0			0.00		0.016			-0.008		
140228	18622	4.2	0.23	2	3	0	0	0			0.00		0.016			-0.008	0.016	
140228	18622	4.2	0.23	2	3	0	0	0			0.00		0.016			-0.008		-0.264
140228	18622	4.2	0.23	2	4	0	0	0			0.00		0.016			-0.008	0.016	-0.264
140525	18919	3.2	0.18	2	1	0	0	0					0.017					
140525	18919	3.2	0.18	2	2	0	0	0					0.017				0.017	
140525	18919	3.2	0.18	2	2	0	0	0					0.017					0.017
140525	18919	3.2	0.18	2	3	0	0	0					0.017				0.017	0.017

**Tabla D.73:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_07

Estadísticos						P-value					Beta					
AIC	$\Delta$ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo
118971	0	69	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.135	0.023	-0.104	-0.122	0.000
118989	18	69	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.135	0.023		-0.099	-0.116
119080	109	69	1	0	3	0.00	0.00		0.00	0.00		0.139			-0.093	195.750
119080	109	69	1	0	4	0.00	0.00		0.00	0.00		0.139			-0.093	195.750
120493	1522	65	1	0	4	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.051	0.034		-0.034	0.051
120666	1695	64	1	0	3	0.00	0.00	0.00		0.00		0.035	0.034			49.558
120800	1829	64	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.150	-0.063	-0.090		0.150
120880	1909	64	1	0	2	0.00	0.00			0.00		0.037			-0.090	0.037
120880	1909	64	1	0	3	0.00	0.00			0.00		0.037			-0.090	0.037
121148	2177	65	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00			0.148	-0.084	-0.108		
121972	3001	60	1	0	3	0.00	0.00	0.00			0.00	0.076	-0.044			-0.044
123186	4215	57	1	0	2	0.00	0.00	0.00				0.040	-0.081			
139303	20332	7	0	0	2	0.00	0.00			0.00		0.094		132.354		
139303	20332	7	0	0	3	0.00	0.00			0.00		0.094		132.354		0.094
140525	21554	3	0	0	1	0.00	0.00					0.017				
140525	21554	3	0	0	2	0.00	0.00					0.017				0.017

**Tabla D.74:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_07 (II)

Capítulo D. Análisis estadístico microsimulación

Estadísticos							P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:Hvd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:Hvd
95190	0	48.8	0.62	2	6	0	0	0	0.00	0	0.00	0.02	0.165	-0.053	-0.016	-0.017	0.000	0.000
95192	2	48.8	0.63	2	5	0	0	0	0.00	0	0.00	0	0.162	-0.053	-0.019	-0.017	0.000	0.000
95223	33	48.7	0.62	2	5	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.166	-0.052	-0.050	0.000	0.000	0.166
95227	37	48.6	0.62	2	4	0	0	0	0.00	0	0.00	0	0.162	-0.052	-0.055	0.000	0.162	0.166
95237	47	48.6	0.63	2	4	0	0	0	0	0.00	0	0	0.161	-0.054	0.000	0.000	0.161	0.161
95237	47	48.6	0.63	2	5	0	0	0	0	0.00	0	0	0.161	-0.054	0.000	0.000	0.161	-0.054
96164	974	45.5	0.59	2	3	0	0	0	0	0.00	0	0	0.161	-0.053	0.000	0.000	-0.053	0.000
96164	974	45.5	0.59	2	4	0	0	0	0	0.00	0	0	0.161	-0.053	0.000	0.000	-0.053	0.000
96593	1403	44.0	0.65	2	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.075	-0.146	-0.015	-0.021	0.000	0.000
96595	1405	44.0	0.65	2	5	0	0	0	0.00	0	0	0.79	0.074	-0.146	-0.015	-0.021	0.000	0.074
96617	1427	44.0	0.65	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0.074	-0.146	0.002	0.002	0.000	0.000
96617	1427	44.0	0.65	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0.074	-0.146	0.002	0.002	0.000	-1.152
96646	1456	43.9	0.65	2	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.075	-0.146	-0.054	0.000	0.000	0.000
96648	1458	43.9	0.65	2	4	0	0	0	0.00	0	0.55	0	0.075	-0.146	-0.053	0.000	0.000	-0.146
97560	2370	40.8	0.61	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0.075	-0.146	0.000	0.000	0.000	0.000
97560	2370	40.8	0.61	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0.075	-0.146	0.000	0.000	0.000	-0.146
98783	3593	36.7	0.54	1	6	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.176	-0.106	-0.020	-0.024	-0.015	0.000
98796	3606	36.6	0.54	1	5	0	0	0	0.00	0	0.00	0	0.176	-0.107	-0.013	-0.023	-0.014	0.000
98816	3626	36.6	0.54	1	4	0	0	0	0	0.00	0	0	0.176	-0.107	0.000	0.000	85.605	0.000
98816	3626	36.6	0.54	1	5	0	0	0	0	0.00	0	0	0.176	-0.107	0.000	0.000	85.605	-51.596
98854	3664	36.5	0.54	1	5	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.176	-0.106	-0.040	0.000	0.000	85.726
98861	3671	36.4	0.54	1	4	0	0	0	0.00	0	0.00	0	0.177	-0.106	-0.055	0.000	86.015	0.000
99610	4420	33.9	0.52	1	5	0	0	0	0.96	0	0	0.00	0.100	-0.120	0.000	-0.023	0.000	48.720
99660	4470	33.7	0.52	1	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.091	-0.120	-0.011	-0.025	0.000	0.000
99670	4480	33.7	0.52	1	4	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0.101	-0.120	-0.019	0.000	0.000	-58.008
99675	4485	33.7	0.51	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0.091	-0.121	1.330	1.330	0.000	0.000
99675	4485	33.7	0.51	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0.091	-0.121	1.330	1.330	0.000	-1.165
99733	4543	33.5	0.51	1	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.091	-0.120	-0.054	0.000	0.000	0.000
99829	4639	33.2	0.49	1	3	0	0	0	0	0	0.00	0	0.174	-0.106	0.000	0.000	-51.340	0.000
99829	4639	33.2	0.49	1	4	0	0	0	0	0	0.00	0	0.174	-0.106	0.000	0.000	-51.340	-0.014
100666	5476	30.3	0.47	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0.090	-0.120	0.000	0.000	0.000	0.000
100666	5476	30.3	0.47	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0.090	-0.120	0.000	0.000	0.000	-57.806
106853	11663	9.6	0.30	1	4	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.060	-0.012	0.000	0.000	29.158	-0.309
106853	11663	9.6	0.30	1	5	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.060	-0.012	0.000	0.000	29.158	-0.309
106875	11685	9.5	0.29	1	3	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.061	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001
106875	11685	9.5	0.29	1	4	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.061	0.000	0.000	0.000	-0.655	-0.001
106907	11717	9.4	0.30	1	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.051	-0.014	0.745	0.745	0.000	0.000
106907	11717	9.4	0.30	1	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.051	-0.014	0.745	0.745	-0.694	0.000
106935	11745	9.3	0.29	1	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.051	0.737	0.000	0.000	0.000	0.000
106935	11745	9.3	0.29	1	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.051	0.737	0.000	0.000	24.735	0.000
106973	11783	9.1	0.30	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0.050	0.000	-0.032	0.000	0.000	0.000
106973	11783	9.1	0.30	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0.050	0.000	-0.032	0.000	24.405	0.000
106973	11783	9.1	0.30	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0.050	0.000	-0.032	0.000	0.000	-1.066
106973	11783	9.1	0.30	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0.050	0.000	-0.032	0.000	24.405	-1.066
107587	12397	7.1	0.26	2	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.038	-0.015	0.001	0.001	0.000	0.000
107587	12397	7.1	0.26	2	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.038	-0.015	0.001	0.001	-0.645	0.000
107589	12399	7.1	0.26	2	4	0	0	0	0.00	0	0	0	0.038	-0.015	0.000	0.000	0.000	-0.639
107589	12399	7.1	0.26	2	5	0	0	0	0.00	0	0.91	0.91	0.038	-0.015	0.000	0.038	0.038	-0.639
107620	12430	7.0	0.26	2	2	0	0	0	0.00	0	0	0	0.038	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
107620	12430	7.0	0.26	2	3	0	0	0	0.00	0	0	0	0.038	0.001	0.000	0.000	0.038	0.000
107622	12432	7.0	0.26	2	3	0	0	0	0.00	0	0.52	0.52	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
107622	12432	7.0	0.26	2	4	0	0	0	0.00	0	0.52	0.52	0.039	0.000	0.000	0.000	-1.061	0.000
107642	12452	6.9	0.26	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0.038	0.000	-0.032	0.000	0.000	0.000
107642	12452	6.9	0.26	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0.038	0.000	-0.032	0.000	0.038	0.000
107642	12452	6.9	0.26	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0.038	0.000	-0.032	0.000	0.000	-1.066
107642	12452	6.9	0.26	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0.038	0.000	-0.032	0.000	0.038	-1.066
107886	12696	6.0	0.22	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
107886	12696	6.0	0.22	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0.051	0.000	0.000	0.000	24.607	0.000
107886	12696	6.0	0.22	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	24.607
107886	12696	6.0	0.22	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0.051	0.000	0.000	0.000	24.607	24.607
108560	13370	3.8	0.18	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
108560	13370	3.8	0.18	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0.038	0.000	0.000	0.000	0.038	0.000
108560	13370	3.8	0.18	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0.038	0.000	0.000	0.000	0.038	0.038
108560	13370	3.8	0.18	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0.038	0.000	0.000	0.000	0.038	0.038

Tabla D.75: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_10

Estadísticos							P-value						Beta				
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	
92954	0	56	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.247	0.158	-0.188	-0.343	0.000	
92955	1	56	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.247	0.159	-0.183	-0.337	0.000	
93742	788	54	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.271	0.176	-0.174	380.846	0.000	
93742	788	54	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.271	0.176	-0.174	380.846	-0.000	
93901	947	53	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.096	0.176	-0.174	-0.072	0.096	
94048	1094	53	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.065	0.176	-0.174	91.500	0.000	
95041	2087	49	1	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.074	0.176	-0.174	-0.170	0.000	
95041	2087	49	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.074	0.176	-0.174	-0.170	0.074	
95535	2581	48	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.283	-0.085	-0.150	0.283	0.283	
96136	3182	46	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.281	-0.151	-0.205	0.281	0.281	
96164	3210	45	1	0													

D.2 Modelos previos configuraciones individuales

Estadísticos		P-value								Beta								
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
97587	497	44.6	0.58	2	4	0	0	0			0.00		0.157	-0.050			-0.050	0.000
98495	1405	41.4	0.62	2	4	0	0	0	0.00	0.00			0.068	-0.146	-0.010	-0.016		
98494	1404	41.4	0.62	2	5	0	0	0	0.00	0.00		0.17	0.066	-0.146	-0.012	-0.017		0.066
98505	1415	41.4	0.62	2	3	0	0	0		0.00			0.068	-0.146		0.002		
98505	1415	41.4	0.62	2	4	0	0	0		0.00			0.068	-0.146		0.002		-0.852
98521	1431	41.5	0.62	2	3	0	0	0	0.00				0.068	-0.146	-0.025			
98523	1433	41.5	0.62	2	4	0	0	0	0.00			0.50	0.067	-0.146	-0.026			-0.146
98999	1909	39.6	0.60	2	2	0	0	0					0.068	-0.145				
98999	1909	39.6	0.60	2	3	0	0	0					0.068	-0.145				-0.145
100538	3248	34.9	0.51	1	6	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.180	-0.104	-0.017	-0.019	-0.017	0.000
100555	3265	34.8	0.51	1	5	0	0	0	0.00	0.00	0.00		0.181	-0.105	-0.010	-0.018	-0.016	
100565	3275	34.8	0.51	1	4	0	0	0		0.00	0.00		0.181	-0.105		0.000	87.744	
100565	3275	34.8	0.51	1	5	0	0	0		0.00	0.00		0.181	-0.105		0.000	87.744	-50.547
100579	3289	34.7	0.51	1	5	0	0	0	0.00		0.00	0.00	0.181	-0.104	-0.033		0.000	87.573
100590	3300	34.7	0.51	1	4	0	0	0	0.00		0.00		0.182	-0.105	-0.026		87.986	
100927	3837	32.8	0.49	1	3	0	0	0			0.00		0.179	-0.104			-50.206	
100927	3837	32.8	0.49	1	4	0	0	0			0.00		0.179	-0.104			-50.206	-0.016
101378	4288	31.2	0.48	1	5	0	0	0	0.09	0.00		0.00	0.096	-0.120	0.005	-0.017		46.408
101409	4319	31.1	0.48	1	4	0	0	0	0.00		0.00	0.00	0.097	-0.120	-0.009			-57.773
101442	4352	31.0	0.47	1	4	0	0	0	0.00	0.00			0.085	-0.120	-0.008	-0.019		
101447	4357	30.9	0.47	1	3	0	0	0		0.00			0.085	-0.120		1.248		
101447	4357	30.9	0.47	1	4	0	0	0		0.00			0.085	-0.120		1.248		-0.870
101482	4392	30.8	0.47	1	3	0	0	0	0.00				0.085	-0.120	-0.025			
101980	4890	29.1	0.46	1	2	0	0	0					0.085	-0.119				
101980	4890	29.1	0.46	1	3	0	0	0					0.085	-0.119				-57.440
108362	11272	6.5	0.24	1	4	0	0	0	0.91	0.01		0.00	0.056		-0.007	0.000		-0.012
108362	11272	6.5	0.24	1	5	0	0	0	0.91	0.01	0.00		0.056		-0.007	0.000	27.009	-0.012
108368	11278	6.4	0.24	1	3	0	0	0				0.00	0.056		0.000			-0.001
108368	11278	6.4	0.24	1	4	0	0	0			0.00		0.056		0.000		-0.215	-0.001
108446	11356	6.2	0.23	1	3	0	0	0	0.00	0.00			0.044	-0.009	0.643			
108446	11356	6.2	0.23	1	4	0	0	0	0.00	0.00			0.044	-0.009	0.643		-0.497	
108457	11567	6.1	0.23	1	2	0	0	0			0.00		0.044		0.639			
108457	11567	6.1	0.23	1	3	0	0	0			0.00		0.044		0.639		21.296	
108478	11388	6.0	0.23	1	2	0	0	0		0.00			0.044			-0.022		
108478	11388	6.0	0.23	1	3	0	0	0		0.00			0.044			-0.022	21.108	
108478	11388	6.0	0.23	1	3	0	0	0		0.00			0.044			-0.022		-0.743
108478	11388	6.0	0.23	1	4	0	0	0		0.00			0.044			-0.022	21.108	-0.743
108902	11812	4.5	0.19	1	1	0	0	0					0.044					
108902	11812	4.5	0.19	1	2	0	0	0					0.044				21.313	
108902	11812	4.5	0.19	1	2	0	0	0					0.044					21.313
108902	11812	4.5	0.19	1	3	0	0	0					0.044				21.313	21.313
109065	11975	4.0	0.20	2	3	0	0	0	0.00	0.00			0.030	-0.010	0.001			
109065	11975	4.0	0.20	2	4	0	0	0	0.00	0.00			0.030	-0.010	0.001		-0.458	
109067	11977	4.0	0.20	2	4	0	0	0	0.00	0.00		0.84	0.030	-0.010	0.000			-0.446
109067	11977	4.0	0.20	2	5	0	0	0	0.00	0.00	0.84		0.030	-0.010	0.000	0.030		-0.446
109078	11988	3.9	0.20	2	2	0	0	0					0.030		0.001			
109078	11988	3.9	0.20	2	3	0	0	0					0.030		0.001		0.030	
109080	11990	3.9	0.20	2	3	0	0	0				0.56	0.031		0.000			0.000
109080	11990	3.9	0.20	2	4	0	0	0	0.00		0.56		0.031		0.000		-0.731	0.000
109091	12001	3.9	0.20	2	2	0	0	0		0.00			0.030			-0.023		
109091	12001	3.9	0.20	2	3	0	0	0		0.00			0.030			-0.023	0.030	
109091	12001	3.9	0.20	2	3	0	0	0		0.00			0.030			-0.023		-0.744
109091	12001	3.9	0.20	2	4	0	0	0		0.00			0.030			-0.023	0.030	-0.744
109516	12426	2.4	0.14	2	1	0	0	0					0.030					
109516	12426	2.4	0.14	2	2	0	0	0					0.030				0.030	
109516	12426	2.4	0.14	2	2	0	0	0					0.030					0.030
109516	12426	2.4	0.14	2	3	0	0	0					0.030				0.030	0.030

Tabla D.77: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_102

Estadísticos		P-value								Beta						
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo
94499	0	56	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.256	0.145	-0.199	-0.322	
94499	0	56	1	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.256	0.145	-0.203	-0.328	0.000
95160	661	53	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.278		-0.174	591.210	
95160	661	53	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.278		-0.174	591.210	-0.000
95577	1078	52	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.093	0.164		-0.080	0.093
95748	1249	51	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.058	0.164		82.199	
96615	2114	48	1	0	2	0.00	0.00	0.00				0.067			-0.169	
96615	2114	48	1	0	3	0.00	0.00	0.00				0.067			-0.169	0.067
96853	2354	47	1	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.291	-0.086	-0.164		0.291
97432	2933	45	1	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00			0.287	-0.152	-0.219		
97587	3088	45	1	0	3	0.00	0.00	0.00			0.00	0.157	-0.050			-0.050
98999	4500	40	1	0	2	0.00	0.00	0.00				0.068	-0.145			
108524	14025	6	0	0	2	0.00	0.00		0.00			0.192		269.754		
108524	14025	6	0	0	3	0.00	0.00		0.00			0.192		269.754		0.192
109516	15017	2	0	0	1	0.00	0.00					0.030				
109516	15017	2	0	0	2	0.00	0.00					0.030				0.030

Tabla D.78: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_102 (II)

Estadísticos		P-value								Beta								
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
65416	0	13.1	0.22	2	5	0	0.00	0.57	0.00	0	0.00		0.228	-0.007	-0.024	-0.042	0.000	
65418	2	13.1	0.22	2	6	0	0.00	0.56	0.00	0	0.00	0.61	0.225	-0.007	-0.026	-0.042	0.000	0.000
65429	13	13.1	0.22	2	4	0	0.00	0.50	0	0	0.00		0.227	-0.008		0.000	0.227	
65429	13	13.1	0.22	2	5	0	0.00	0.50		0	0.00		0.227	-0.008		0.000	0.227	-0.008
65459	45	13.0	0.22	2	4	0	0.00	0.50	0.00	0	0.00		0.229	-0.005	-0.062		0.229	
65461	45	13.0	0.22	2	5	0	0.00	0.50	0.00	0	0.00	0.96	0.229	-0.005	-0.062		0.000	0.229
66059	643	11.4	0.20	2	3	0	0.00	0.57			0.00		0.226	-0.007			-0.007	
66059	643	11.4	0.20	2	4	0	0.00	0.57			0.00		0.226	-0.007			-0.007	0.000
66354	938	10.6	0.22	2	5	0	0.00	0.00	0.01	0		0.08	0.066	-0.176	-0.024	-0.051		0.066
66357																		

		Estadísticos					P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
66909	1493	9.2	0.21	1	6	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.292	-0.085	-0.041	-0.045	-0.035	0.001
66928	1512	9.1	0.21	1	5	0	0.00	0.00	0.01	0	0.00		0.295	-0.087	-0.023	-0.042	-0.033	
66939	1523	9.1	0.21	1	4	0	0.00	0.00		0	0.00		0.294	-0.088		-0.001	141.910	
66939	1523	9.1	0.21	1	5	0	0.00	0.00		0	0.00		0.294	-0.088		-0.001	141.910	-42.110
66956	1540	9.0	0.21	1	5	0	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.295	-0.085	-0.079		0.001	142.460
66970	1554	9.0	0.21	1	4	0	0.00	0.00	0.00		0.00		0.297	-0.086	-0.061		143.333	
66994	1578	8.9	0.19	2	2	0	0.00	0.00					0.072	-0.175				
66994	1578	8.9	0.19	2	3	0	0.00	0.00					0.072	-0.175				-0.175
67570	2154	7.4	0.18	1	3	0	0.00	0.00			0.00		0.292	-0.086				-41.326
67570	2154	7.4	0.18	1	4	0	0.00	0.00			0.00		0.292	-0.086				-41.326
67881	2465	6.6	0.18	1	5	0	0.00	0.00	0.28	0		0.00	0.114	-0.121	0.010	-0.045		55.196
67927	2511	6.4	0.17	1	4	0	0.00	0.00	0.00			0.00	0.117	-0.120	-0.026			-57.828
67935	2519	6.4	0.17	1	4	0	0.00	0.00	0.05	0			0.093	-0.121	-0.016	-0.048		
67940	2524	6.4	0.17	1	3	0	0.00	0.00	0.00				0.093	-0.121		1.362		
67940	2524	6.4	0.17	1	4	0	0.00	0.00		0			0.093	-0.121		1.362		-2.070
67992	2576	6.2	0.17	1	3	0	0.00	0.00	0.00				0.094	-0.120	-0.060			
68579	3165	4.7	0.14	1	2	0	0.00	0.00					0.092	-0.119				
68579	3165	4.7	0.14	1	3	0	0.00	0.00					0.092	-0.119				-57.325
69344	3928	2.6	0.15	1	4	0	0.00	0.84	0		0.00		0.068		-0.055	0.000		0.072
69344	3928	2.6	0.15	1	5	0	0.00	0.84	0	0.00			0.068		-0.055	0.000	32.655	0.072
69376	3960	2.6	0.12	1	3	0	0.00	0.00			0.00		0.070		0.000			-0.002
69376	3960	2.6	0.12	1	4	0	0.00	0.00			0.00		0.070		0.000		-0.926	-0.002
69393	3977	2.5	0.15	1	3	0	0.00	0.01	0				0.048		-0.059	0.701		
69393	3977	2.5	0.15	1	4	0	0.00	0.01	0				0.048		-0.059	0.701	-0.755	
69405	3989	2.5	0.15	1	2	0	0.00						0.047			-0.061		
69405	3989	2.5	0.15	1	3	0	0.00						0.047			-0.061	22.883	
69405	3989	2.5	0.15	1	3	0	0.00						0.047			-0.061		-1.997
69405	3989	2.5	0.15	1	4	0	0.00		0				0.047			-0.061	22.883	-1.997
69434	4018	2.4	0.12	1	2	0	0.00	0.00					0.048		0.703			
69434	4018	2.4	0.12	1	3	0	0.00	0.00					0.048		0.703		25.421	
69639	4223	1.9	0.11	2	4	0	0.02	0.01	0			0.10	0.014		-0.044	0.000		-0.964
69639	4223	1.9	0.11	2	5	0	0.02	0.01	0		0.10		0.014		-0.044	0.000	0.014	-0.964
69643	4227	1.8	0.11	2	3	0	0.00	0.04	0				0.021		-0.042	0.001		
69643	4227	1.8	0.11	2	4	0	0.00	0.04	0				0.021		-0.042	0.001	-0.650	
69651	4235	1.8	0.11	2	2	0	0.00						0.021			-0.060		
69651	4235	1.8	0.11	2	3	0	0.00						0.021			-0.060	0.021	
69651	4235	1.8	0.11	2	3	0	0.00						0.021			-0.060		-1.995
69651	4235	1.8	0.11	2	4	0	0.00		0				0.021			-0.060	0.021	-1.995
69690	4274	1.7	0.11	2	3	0	0.00	0.00			0.25	0.25	0.017		0.000			0.000
69690	4274	1.7	0.11	2	4	0	0.00	0.00			0.25		0.017		0.000		-2.195	0.000
69691	4275	1.7	0.11	2	2	0	0.00	0.00					0.022		0.001			
69691	4275	1.7	0.11	2	3	0	0.00	0.00					0.022		0.001		0.022	
70019	4603	0.8	0.06	1	1	0	0.00						0.047					
70019	4603	0.8	0.06	1	2	0	0.00						0.047				22.802	
70019	4603	0.8	0.06	1	2	0	0.00						0.047					22.802
70019	4603	0.8	0.06	1	3	0	0.00						0.047				22.802	22.802
70267	4851	0.2	0.05	2	1	0	0.00						0.021					
70267	4851	0.2	0.05	2	2	0	0.00						0.021				0.021	
70267	4851	0.2	0.05	2	2	0	0.00						0.021					0.021
70267	4851	0.2	0.05	2	3	0	0.00						0.021				0.021	0.021

**Tabla D.79:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 050\_20

		Estadísticos					P-value						Beta				
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	
62406	0	21	0	0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.412	0.537	-0.411	-0.853	0.000	
62446	40	21	0	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.419	0.543	-0.378	-0.789		
63362	956	19	0	0	4	0.00	0.00	0.00			0.00	0.080	0.579		-0.081	0.080	
63396	990	19	0	0	3	0.00	0.00	0.00			0.00	0.046	0.576		65.112		
64138	1732	17	0	0	3	0.00	0.00		0.00	0.00		0.494		-0.234	693.866		
64138	1732	17	0	0	4	0.00	0.00		0.00	0.00		0.494		-0.234	693.866	-0.000	
65376	2970	13	0	0	2	0.00	0.00			0.00		0.076			-0.224		
65376	2970	13	0	0	3	0.00	0.00			0.00		0.076			-0.224	0.076	
65396	2990	13	0	0	4	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.501	-0.077	-0.536		0.501	
65725	3319	12	0	0	3	0.00	0.00	0.00	0.00			0.494	-0.188	-0.424			
66059	3653	11	0	0	3	0.00	0.00	0.37			0.00	0.226	-0.007			-0.007	
66994	4588	9	0	0	2	0.00	0.00	0.00				0.072	-0.175				
69379	6973	3	0	0	2	0.00	0.00		0.00			0.357		500.795			
69379	6973	3	0	0	3	0.00	0.00		0.00			0.357		500.795		0.357	
70267	7861	0	0	0	1	0.00	0.00					0.021					
70267	7861	0	0	0	2	0.00	0.00					0.021				0.021	

**Tabla D.80:** Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 050\_20 (II)

		Estadísticos					P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd
4	0			1	1	0	1						-Inf					
4	0			1	2	0	1						-Inf				-Inf	
4	0			1	2	0	1						-Inf				-Inf	-Inf
4	0			1	3	0	1						-Inf				-Inf	-Inf
4	0			2	1	0	1						-Inf				-Inf	-Inf
4	0			2	2	0	1						-Inf				-Inf	-Inf
4	0			2	2	0	1						-Inf				-Inf	-Inf
4	0			2	3	0	1						-Inf				-Inf	-Inf
6	2			1	2	0	1	1					-Inf	Inf				
6	2			1	2	0	1		1				-Inf		-Inf			
6	2			1	2	0	1			1			-Inf		-Inf			
6	2			1	3	0	1				1		-Inf		-Inf			
6	2			1	3	0	1					1	-Inf		-Inf			Inf
6	2			1	3	0	1						-Inf		-Inf			-Inf
6	2			1	4	0	1						-Inf		-Inf			-Inf
6	2			2	2	0	1	1					-Inf		-Inf			-Inf
6	2			2	2	0	1		1				-Inf		-Inf			-Inf
6	2			2	2	0	1			1			-Inf		-Inf			-Inf
6	2			2	3	0	1			1			-Inf		-Inf			-Inf
6	2			2	3	0	1				1		-Inf		-Inf			-Inf

Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 100\_00

Continúa



Estadísticos						P-value						Beta							
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	Vd	Vo	HVd	HVo	Vd:Vo	Vd:HVd	
6	2			2	3	0	1	1					-Inf	Inf					Inf
6	2			2	3	0	1			1			-Inf			-Inf			-Inf
6	2			2	4	0	1			1			-Inf			-Inf	-Inf		-Inf
8	4			1	3	0	1	1	1				-Inf	Inf	-Inf				-Inf
8	4			1	3	0	1	1		1			-Inf	Inf		-Inf			-Inf
8	4			1	3	0	1		1	1			-Inf		-Inf				-Inf
8	4			1	4	0	1		1	1	1		-Inf	Inf	-Inf	-Inf			Inf
8	4			1	3	0	1	1				1	-Inf		Inf				Inf
8	4			1	4	0	1	1		1	1		-Inf	Inf	-Inf	-Inf			-Inf
8	4			1	4	0	1	1			1		-Inf	Inf					Inf
8	4			1	4	0	1		1	1		1	-Inf		Inf				Inf
8	4			2	3	0	1	1	1				-Inf	Inf	-Inf				Inf
8	4			2	3	0	1	1		1			-Inf	Inf		-Inf			Inf
8	4			2	3	0	1		1	1			-Inf		-Inf	-Inf			Inf
8	4			2	4	0	1		1	1			-Inf		-Inf	-Inf	-Inf		Inf
8	4			2	3	0	1		1			1	-Inf		Inf				Inf
8	4			2	4	0	1	1		1			-Inf	Inf	-Inf	-Inf			Inf
8	4			2	4	0	1	1			1		-Inf	-Inf			-Inf		Inf
8	4			2	4	0	1		1	1		1	-Inf		Inf				Inf
10	6			1	4	0	1	1	1	1			-Inf	Inf	-Inf	-Inf			Inf
10	6			1	4	0	1	1	1		1		-Inf	Inf	-Inf		-Inf		Inf
10	6			1	4	0	1	1		1	1		-Inf	Inf		Inf			Inf
10	6			1	4	0	1	1	1			1	-Inf	Inf	-Inf				Inf
10	6			1	4	0	1		1	1		1	-Inf		-Inf	Inf			Inf
10	6			1	5	0	1	1	1	1	1		-Inf	Inf	-Inf	Inf	-Inf		Inf
10	6			1	5	0	1		1	1	1		-Inf		-Inf	Inf	-Inf		Inf
10	6			2	4	0	1	1	1	1			-Inf	Inf	-Inf	-Inf			Inf
10	6			2	4	0	1	1	1		1		-Inf	-Inf	-Inf		-Inf		Inf
10	6			2	4	0	1	1		1		1	-Inf	Inf	-Inf	Inf	-Inf		Inf
10	6			2	4	0	1		1	1		1	-Inf		-Inf	Inf	-Inf		Inf
10	6			2	5	0	1	1	1	1	1		-Inf	-Inf	-Inf	Inf	-Inf		Inf
10	6			2	5	0	1		1	1	1		-Inf		-Inf	Inf	-Inf		Inf
12	8			1	5	0	1	1	1	1	1		-Inf	Inf	-Inf	-Inf	Inf		Inf
12	8			1	5	0	1	1	1	1		1	-Inf	Inf	-Inf	-Inf			Inf
12	8			1	5	0	1	1	1		1	1	-Inf		-Inf	-Inf	Inf		Inf
12	8			2	5	0	1	1	1	1	1		-Inf	-Inf	-Inf	-Inf	Inf		Inf
12	8			2	5	0	1	1	1	1		1	-Inf	Inf	-Inf	-Inf			Inf
12	8			2	5	0	1	1	1		1	1	-Inf	-Inf	-Inf		Inf		Inf
14	10			1	6	0	1	1	1	1	1		-Inf	Inf	-Inf	-Inf	Inf		Inf
14	10			2	6	0	1	1	1	1	1	1	-Inf	-Inf	-Inf	-Inf	Inf		Inf

Tabla D.81: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamiento en la configuración 100\_00

Estadísticos						P-value						Beta					
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	Vd	Vo	Vd2	Vo2	Vd:Vo	
4	0			0	1	0.00	1.00					-Inf					
4	0			0	2	0.00	1.00					-Inf					-Inf
6	2			0	2	0.00	1.00	1.00				-Inf	Inf				-Inf
6	2			0	2	0.00	1.00		1.00			-Inf		-Inf			-Inf
6	2			0	2	0.00	1.00			1.00		-Inf			-Inf		-Inf
6	2			0	3	0.00	1.00		1.00			-Inf		-Inf			-Inf
6	2			0	3	0.00	1.00			1.00		-Inf			-Inf		-Inf
8	4			0	3	0.00	1.00	1.00	1.00			-Inf	Inf	Inf			-Inf
8	4			0	3	0.00	1.00	1.00		1.00		-Inf	Inf		-Inf		-Inf
8	4			0	3	0.00	1.00		1.00	1.00		-Inf		Inf	-Inf		-Inf
8	4			0	3	0.00	1.00	1.00			1.00	-Inf	-Inf				-Inf
8	4			0	4	0.00	1.00		1.00	1.00		-Inf		Inf	-Inf		Inf
10	6			0	4	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00		-Inf	Inf	Inf			-Inf
10	6			0	4	0.00	1.00	1.00		1.00	1.00	-Inf	Inf		Inf		-Inf
10	6			0	4	0.00	1.00	1.00			1.00	-Inf	Inf		Inf		-Inf
12	8			0	5	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-Inf	Inf	Inf	-Inf		-Inf

Tabla D.82: Indicadores del ajuste y coeficientes estandarizados. Modelo de adelantamientos en la configuración 100\_00 (II)

## D.3 Modelos finales configuraciones individuales

### D.3.1 Velocidad media

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.952E+01	4.94E-02	1.81E+03	0.00E+00	
Vd	-1.504E-02	5.30E-05	-2.84E+02	0.00E+00	-7.60E-01
Vo	-6.441E-03	5.30E-05	-1.22E+02	0.00E+00	-3.26E-01
HVd	-5.221E-02	1.64E-03	-3.19E+01	2.31E-217	-7.84E-02

Null deviance: 130510 on 18975 degrees of freedom  
 Residual deviance: 1136738 on 18978 degrees of freedom  
 AIC: 90464  
 Correlation: 0.941

Tabla D.83: Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 000\_01

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.741E+01	4.71E-02	1.85E+03	0.00E+00	
Vd	-1.583E-02	5.07E-05	-3.12E+02	0.00E+00	-8.30E-01

Vo	-4.215E-03	5.06E-05	-8.32E+01	0.00E+00	-2.21E-01
HVd	-3.503E-02	1.57E-03	-2.24E+01	1.87E-109	-5.47E-02

Null deviance: 120778 on 19120 degrees of freedom  
 Residual deviance: 1055609 on 19123 degrees of freedom  
 AIC: 89527  
 Correlation: 0.941

**Tabla D.84:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_01

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.801E+01	4.64E-02	1.90E+03	0.00E+00	
Vd	-1.604E-02	4.96E-05	-3.23E+02	0.00E+00	-8.33E-01
Vo	-4.309E-03	4.95E-05	-8.70E+01	0.00E+00	-2.24E-01
HVd	-4.086E-02	1.54E-03	-2.66E+01	3.06E-153	-6.33E-02

Null deviance: 116390 on 19114 degrees of freedom  
 Residual deviance: 1075575 on 19117 degrees of freedom  
 AIC: 88798  
 Correlation: 0.944

**Tabla D.85:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_012

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.592E+01	4.86E-02	1.77E+03	0.00E+00	
Vd	-1.557E-02	5.20E-05	-2.99E+02	0.00E+00	-8.50E-01
Vo	-3.196E-03	5.20E-05	-6.14E+01	0.00E+00	-1.74E-01
HVd	-2.433E-02	1.61E-03	-1.51E+01	3.30E-51	-3.96E-02

Null deviance: 128007 on 19116 degrees of freedom  
 Residual deviance: 975075 on 19119 degrees of freedom  
 AIC: 90624  
 Correlation: 0.932

**Tabla D.86:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_013

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.722E+01	4.75E-02	1.84E+03	0.00E+00	
Vd	-1.595E-02	5.09E-05	-3.13E+02	0.00E+00	-8.38E-01
Vo	-3.935E-03	5.09E-05	-7.74E+01	0.00E+00	-2.07E-01
HVd	-3.268E-02	1.57E-03	-2.08E+01	8.54E-95	-5.11E-02

Null deviance: 122398 on 19103 degrees of freedom  
 Residual deviance: 1058622 on 19106 degrees of freedom  
 AIC: 89719  
 Correlation: 0.94

**Tabla D.87:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_02

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.618E+01	5.37E-02	1.60E+03	0.00E+00	
Vd	-1.661E-02	5.73E-05	-2.90E+02	0.00E+00	-8.33E-01
Vo	-3.683E-03	5.72E-05	-6.44E+01	0.00E+00	-1.85E-01
HVd	-8.773E-02	1.78E-03	-4.92E+01	0.00E+00	-1.31E-01

Null deviance: 157045 on 19173 degrees of freedom  
 Residual deviance: 1162427 on 19176 degrees of freedom  
 AIC: 94758  
 Correlation: 0.93

**Tabla D.88:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_022

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.707E+01	5.31E-02	1.64E+03	0.00E+00	
Vd	-1.703E-02	5.68E-05	-3.00E+02	0.00E+00	-8.30E-01
Vo	-4.121E-03	5.68E-05	-7.25E+01	0.00E+00	-2.01E-01
HVd	-9.103E-02	1.76E-03	-5.17E+01	0.00E+00	-1.32E-01

Null deviance: 152358 on 19150 degrees of freedom  
 Residual deviance: 1218169 on 19153 degrees of freedom  
 AIC: 94087  
 Correlation: 0.935

**Tabla D.89:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_023

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.514E+01	5.58E-02	1.53E+03	0.00E+00	
Vd	-1.690E-02	5.97E-05	-2.83E+02	0.00E+00	-8.56E-01
Vo	-2.591E-03	5.97E-05	-4.34E+01	0.00E+00	-1.31E-01
HVd	-8.080E-02	1.85E-03	-4.37E+01	0.00E+00	-1.22E-01

Null deviance: 168249 on 19118 degrees of freedom  
 Residual deviance: 1130418 on 19121 degrees of freedom  
 AIC: 95859  
 Correlation: 0.923

**Tabla D.90:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_024

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.655E+01	5.31E-02	1.63E+03	0.00E+00	
Vd	-1.682E-02	5.69E-05	-2.96E+02	0.00E+00	-8.32E-01
Vo	-5.945E-05	5.68E-05	-6.95E+01	0.00E+00	-1.95E-01
HVd	-8.741E-02	1.76E-03	-4.95E+01	0.00E+00	-1.29E-01

Null deviance: 152285 on 19113 degrees of freedom  
Residual deviance: 1182826 on 19116 degrees of freedom  
AIC: 93953  
Correlation: 0.933

**Tabla D.91:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_025

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.460E+01	5.62E-02	1.50E+03	0.00E+00	
Vd	-1.676E-02	6.02E-05	-2.78E+02	0.00E+00	-8.60E-01
Vo	-2.206E-05	6.02E-05	-5.67E+01	1.43E-284	-1.13E-01
HVd	-8.227E-02	1.86E-03	-4.43E+01	0.00E+00	-1.26E-01

Null deviance: 170882 on 19146 degrees of freedom  
Residual deviance: 1096851 on 19149 degrees of freedom  
AIC: 96268  
Correlation: 0.919

**Tabla D.92:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_026

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.697E+01	4.74E-02	1.84E+03	0.00E+00	
Vd	-1.588E-02	5.05E-05	-5.14E+02	0.00E+00	-8.42E-01
Vo	-3.800E-05	5.05E-05	-7.53E+01	0.00E+00	-2.02E-01
HVd	-3.450E-02	1.56E-03	-2.19E+01	2.72E-105	-5.43E-02

Null deviance: 120944 on 19141 degrees of freedom  
Residual deviance: 1029044 on 19144 degrees of freedom  
AIC: 89651  
Correlation: 0.939

**Tabla D.93:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_03

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.665E+01	4.79E-02	1.81E+03	0.00E+00	
Vd	-1.595E-02	5.09E-05	-5.13E+02	0.00E+00	-8.51E-01
Vo	-3.457E-05	5.09E-05	-6.79E+01	0.00E+00	-1.85E-01
HVd	-3.166E-02	1.58E-03	-2.00E+01	1.93E-88	-5.05E-02

Null deviance: 124045 on 19164 degrees of freedom  
Residual deviance: 1019704 on 19167 degrees of freedom  
AIC: 90201  
Correlation: 0.937

**Tabla D.94:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_04

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.590E+01	5.40E-02	1.59E+03	0.00E+00	
Vd	-1.676E-02	5.77E-05	-2.90E+02	0.00E+00	-8.40E-01
Vo	-3.514E-05	5.77E-05	-6.09E+01	0.00E+00	-1.76E-01
HVd	-8.123E-02	1.79E-03	-4.54E+01	0.00E+00	-1.21E-01

Null deviance: 157300 on 19059 degrees of freedom  
Residual deviance: 1156541 on 19062 degrees of freedom  
AIC: 94339  
Correlation: 0.93

**Tabla D.95:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_042

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.617E+01	4.71E-02	1.83E+03	0.00E+00	
Vd	-1.581E-02	5.05E-05	-5.13E+02	0.00E+00	-8.56E-01
Vo	-3.165E-05	5.05E-05	-6.27E+01	0.00E+00	-1.72E-01
HVd	-2.948E-02	1.56E-03	-1.89E+01	1.33E-78	-4.74E-02

Null deviance: 119850 on 19104 degrees of freedom  
Residual deviance: 991235 on 19107 degrees of freedom  
AIC: 89321  
Correlation: 0.938

**Tabla D.96:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_05

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.487E+01	5.32E-02	1.60E+03	0.00E+00	
Vd	-1.640E-02	5.70E-05	-2.88E+02	0.00E+00	-8.53E-01
Vo	-2.736E-05	5.69E-05	-4.81E+01	0.00E+00	-1.42E-01
HVd	-8.430E-02	1.76E-03	-4.79E+01	0.00E+00	-1.31E-01

Null deviance: 151752 on 19043 degrees of freedom  
Residual deviance: 1064552 on 19046 degrees of freedom  
AIC: 93592  
Correlation: 0.926

**Tabla D.97:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_07

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.440E+01	4.74E-02	1.78E+03	0.00E+00	
Vd	-1.572E-02	5.05E-05	-5.12E+02	0.00E+00	-8.90E-01
Vo	-1.706E-05	5.04E-05	-5.39E+01	5.07E-244	-9.66E-02
HVd	-1.693E-02	1.57E-03	-1.08E+01	3.92E-27	-2.85E-02

Null deviance: 120811 on 19123 degrees of freedom  
 Residual deviance: 904904 on 19126 degrees of freedom  
 AIC: 89544  
 Correlation: 0.951

**Tabla D.98:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_10

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.535E+01	5.45E-02	1.53E+03	0.00E+00	
Vd	-1.626E-02	5.82E-05	-2.79E+02	0.00E+00	-8.70E-01
Vo	-1.751E-03	5.81E-05	-3.01E+01	6.85E-195	-9.38E-02
HVd	-7.567E-02	1.79E-03	-4.23E+01	0.00E+00	-1.22E-01

Null deviance: 159040 on 19106 degrees of freedom  
 Residual deviance: 1008029 on 19109 degrees of freedom  
 AIC: 94735  
 Correlation: 0.918

**Tabla D.99:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_102

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.275E+01	5.52E-02	1.50E+03	0.00E+00	
Vd	-1.600E-02	5.91E-05	-2.71E+02	0.00E+00	-8.75E-01
Vo	-1.244E-03	5.91E-05	-2.11E+01	2.59E-97	-6.81E-02
HVd	-7.136E-02	1.82E-03	-3.92E+01	1.98E-323	-1.17E-01

Null deviance: 164266 on 19089 degrees of freedom  
 Residual deviance: 964431 on 19092 degrees of freedom  
 AIC: 95285  
 Correlation: 0.911

**Tabla D.100:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 050\_20

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	8.326E+01	4.94E-02	1.69E+03	0.00E+00	
Vd	-1.535E-02	5.30E-05	-2.90E+02	0.00E+00	-8.92E-01
Vo	-1.133E-03	5.29E-05	-2.14E+01	1.42E-100	-6.59E-02
HVd	-8.990E-03	1.63E-03	-5.51E+00	3.67E-08	-1.56E-02

Null deviance: 132764 on 19187 degrees of freedom  
 Residual deviance: 859459 on 19190 degrees of freedom  
 AIC: 91590  
 Correlation: 0.92

**Tabla D.101:** Resumen del modelo de velocidad media en la configuración 100\_00

### D.3.2 Porcentaje de tiempo en cola

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	-2.125E-03	2.21E-04	-9.63E+00	6.66E-22
a2	-5.476E-05	6.87E-07	-5.06E+01	0.00E+00
a3	6.147E-04	7.19E-05	8.55E+00	1.32E-17
b1	1.326E+00	2.03E-02	6.53E+01	0.00E+00
b2	-2.255E-05	3.62E-06	-6.17E+00	6.89E-10
b3	-1.003E-01	3.61E-03	-2.78E+01	4.21E-167

Residual standard error: 4.839  
 Degrees of freedom: 18973  
 Correlation: 0.98

**Tabla D.102:** Modelo de ptsf en la configuración 000\_01

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	4.763E-04	2.06E-04	2.32E+00	2.06E-02
a2	-2.468E-05	7.01E-07	-3.52E+01	8.45E-263
a3	-5.981E-04	7.25E-05	-8.25E+00	1.72E-16
b1	1.191E+00	2.05E-02	5.82E+01	0.00E+00
b2	-3.671E-05	2.89E-06	-1.27E+01	8.47E-37
b3	-7.510E-02	3.56E-03	-2.11E+01	9.32E-98

Residual standard error: 4.382  
 Degrees of freedom: 19118  
 Correlation: 0.98

**Tabla D.103:** Modelo de ptsf en la configuración 050\_01

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	3.541E-04	1.75E-04	2.02E+00	4.32E-02
a2	-1.822E-05	5.60E-07	-3.25E+01	5.65E-226
a5	-6.024E-04	5.76E-05	-1.05E+01	1.46E-25
b1	1.202E+00	2.04E-02	5.89E+01	0.00E+00
b2	-1.632E-05	2.78E-06	-5.86E+00	4.67E-09
b5	-7.458E-02	3.52E-05	-2.12E+01	1.94E-98

Residual standard error: 4.389  
Degrees of freedom: 19112  
Correlation: 0.981

Tabla D.104: Modelo de ptsf en la configuración 050\_012

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	-2.247E-04	5.14E-04	-4.37E-01	6.62E-01
a2	-1.861E-05	7.90E-07	-2.35E+01	7.89E-121
a5	-1.650E-05	1.06E-04	-1.55E+01	6.61E-54
b1	8.667E-01	1.80E-02	4.80E+01	0.00E+00
b2	-7.474E-05	3.01E-06	-2.49E+01	2.93E-154
b5	-2.362E-02	3.11E-05	-7.59E+00	3.46E-14

Residual standard error: 4.671  
Degrees of freedom: 19114  
Correlation: 0.974

Tabla D.105: Modelo de ptsf en la configuración 050\_013

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	1.915E-05	2.33E-04	8.20E+00	2.49E-16
a2	-2.240E-05	7.33E-07	-3.06E+01	1.96E-200
a5	-1.052E-05	8.13E-05	-1.29E+01	3.66E-58
b1	1.149E+00	1.98E-02	5.81E+01	0.00E+00
b2	-5.877E-05	2.63E-06	-1.48E+01	4.68E-49
b5	-6.830E-02	3.41E-05	-2.00E+01	1.81E-88

Residual standard error: 4.459  
Degrees of freedom: 19101  
Correlation: 0.98

Tabla D.106: Modelo de ptsf en la configuración 050\_02

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	1.985E-05	2.59E-04	7.68E+00	1.73E-14
a2	-2.119E-05	7.25E-07	-2.92E+01	1.05E-185
a5	-1.597E-05	7.60E-05	-2.10E+01	8.16E-97
b1	1.077E+00	1.65E-02	6.53E+01	0.00E+00
b2	-5.069E-05	2.28E-06	-1.54E+01	4.95E-41
b5	-6.020E-02	2.83E-05	-2.13E+01	2.09E-99

Residual standard error: 4.122  
Degrees of freedom: 19171  
Correlation: 0.98

Tabla D.107: Modelo de ptsf en la configuración 050\_022

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	-2.784E-05	1.39E-04	-2.00E-01	8.41E-01
a2	-2.341E-05	5.52E-07	-4.24E+01	0.00E+00
a5	-2.933E-04	5.30E-05	-5.54E+00	3.13E-08
b1	1.397E+00	1.91E-02	7.33E+01	0.00E+00
b2	-2.227E-06	2.87E-06	-7.77E-01	4.37E-01
b5	-1.071E-01	5.34E-05	-3.20E+01	3.75E-219

Residual standard error: 4.085  
Degrees of freedom: 19148  
Correlation: 0.985

Tabla D.108: Modelo de ptsf en la configuración 050\_023

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	-1.757E-05	2.75E-04	-6.40E+00	1.59E-10
a2	-2.412E-05	7.31E-07	-3.30E+01	4.25E-232
a5	-3.837E-04	6.51E-05	-5.89E+00	3.83E-09
b1	1.319E+00	2.22E-02	5.95E+01	0.00E+00
b2	-1.288E-05	3.48E-06	-3.71E+00	2.12E-04
b5	-9.632E-02	3.90E-05	-2.47E+01	1.75E-132

Residual standard error: 4.985  
Degrees of freedom: 19116  
Correlation: 0.97

Tabla D.109: Modelo de ptsf en la configuración 050\_024

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	1.241E-05	1.80E-04	6.90E+00	5.32E-12
a2	-2.491E-05	6.86E-07	-3.63E+01	5.23E-279
a5	-8.322E-04	6.81E-05	-1.22E+01	3.11E-54
b1	1.263E+00	1.86E-02	6.77E+01	0.00E+00
b2	-2.124E-05	2.56E-06	-8.30E+00	1.11E-16
b5	-8.787E-02	3.24E-05	-2.71E+01	1.01E-158

Residual standard error: 4.111  
Degrees of freedom: 19111  
Correlation: 0.981

**Tabla D.110:** Modelo de ptsf en la configuración 050\_025

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	-4.210E-05	4.27E-04	-9.85E+00	7.71E-23
a2	-2.534E-05	7.16E-07	-3.54E+01	4.84E-266
a3	-1.465E-04	7.69E-05	-1.90E+00	5.70E-02
b1	1.216E+00	2.15E-02	5.65E+01	0.00E+00
b2	-3.516E-05	3.60E-06	-9.77E+00	1.65E-22
b3	-7.961E-02	3.81E-03	-2.09E+01	5.96E-96

Residual standard error: 4.86  
 Degrees of freedom: 19144  
 Correlation: 0.97

**Tabla D.111:** Modelo de ptsf en la configuración 050\_026

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	2.517E-03	2.37E-04	1.06E+01	2.32E-26
a2	-2.272E-05	7.65E-07	-2.97E+01	1.75E-189
a3	-1.215E-03	8.48E-05	-1.43E+01	2.71E-46
b1	1.155E+00	1.97E-02	5.88E+01	0.00E+00
b2	-3.787E-05	2.54E-06	-1.49E+01	7.30E-50
b3	-6.992E-02	3.38E-03	-2.07E+01	5.37E-94

Residual standard error: 4.478  
 Degrees of freedom: 19139  
 Correlation: 0.979

**Tabla D.112:** Modelo de ptsf en la configuración 050\_03

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	3.065E-03	2.56E-04	1.20E+01	7.73E-33
a2	-2.058E-05	7.62E-07	-2.70E+01	6.61E-158
a3	-1.613E-03	8.56E-05	-1.88E+01	1.52E-78
b1	1.080E+00	1.81E-02	5.98E+01	0.00E+00
b2	-4.420E-05	2.37E-06	-1.86E+01	9.74E-77
b3	-5.809E-02	3.08E-03	-1.88E+01	1.53E-78

Residual standard error: 4.419  
 Degrees of freedom: 19162  
 Correlation: 0.978

**Tabla D.113:** Modelo de ptsf en la configuración 050\_04

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	3.766E-03	2.62E-04	1.44E+01	1.51E-46
a2	-2.369E-05	8.22E-07	-2.88E+01	1.35E-178
a3	-1.863E-03	9.03E-05	-2.06E+01	1.73E-93
b1	1.117E+00	1.68E-02	6.65E+01	0.00E+00
b2	-3.250E-05	2.21E-06	-1.47E+01	1.22E-48
b3	-6.734E-02	2.88E-03	-2.34E+01	1.68E-119

Residual standard error: 4.183  
 Degrees of freedom: 19057  
 Correlation: 0.98

**Tabla D.114:** Modelo de ptsf en la configuración 050\_042

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	2.376E-03	2.68E-04	8.87E+00	7.61E-19
a2	-1.936E-05	7.03E-07	-2.75E+01	1.01E-163
a3	-1.654E-03	7.79E-05	-2.12E+01	5.22E-99
b1	1.065E+00	1.67E-02	6.39E+01	0.00E+00
b2	-4.201E-05	2.34E-06	-1.80E+01	1.47E-71
b3	-5.591E-02	2.85E-03	-1.96E+01	5.19E-85

Residual standard error: 4.211  
 Degrees of freedom: 19102  
 Correlation: 0.979

**Tabla D.115:** Modelo de ptsf en la configuración 050\_05

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	1.745E-03	4.68E-04	3.73E+00	1.94E-04
a2	-1.956E-05	8.30E-07	-2.33E+01	1.44E-118
a3	-2.295E-03	1.07E-04	-2.15E+01	1.09E-101
b1	1.009E+00	1.56E-02	6.47E+01	0.00E+00
b2	-3.121E-05	2.69E-06	-1.16E+01	4.02E-31
b3	-5.217E-02	2.68E-03	-1.95E+01	1.47E-83

Residual standard error: 4.28  
 Degrees of freedom: 19041  
 Correlation: 0.976

**Tabla D.116:** Modelo de ptsf en la configuración 050\_07

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	-5.675E-03	8.73E-04	-6.50E+00	8.18E-11
a2	-1.072E-05	6.36E-07	-1.69E+01	2.56E-63

a5	-1.342E-03	1.64E-04	-8.18E+00	2.92E-16
b1	9.147E-01	1.57E-02	5.82E+01	0.00E+00
b2	-2.602E-05	3.88E-06	-6.71E+00	2.04E-11
b5	-3.413E-02	2.78E-03	-1.23E+01	1.66E-34
Residual standard error: 4.256				
Degrees of freedom: 19121				
Correlation: 0.974				

**Tabla D.117:** Modelo de ptsf en la configuración 050\_10

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	-4.003E-03	7.92E-04	-5.05E+00	4.36E-07
a2	-1.554E-05	7.25E-07	-2.14E+01	1.43E-100
a5	-1.767E-03	1.48E-04	-1.19E+01	1.15E-32
b1	9.750E-01	1.53E-02	6.39E+01	0.00E+00
b2	-2.354E-05	3.28E-06	-7.17E+00	7.85E-13
b5	-4.713E-02	2.68E-03	-1.76E+01	1.08E-68
Residual standard error: 4.131				
Degrees of freedom: 19104				
Correlation: 0.975				

**Tabla D.118:** Modelo de ptsf en la configuración 050\_102

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	-1.207E-02	1.50E-03	-8.04E+00	9.63E-16
a2	-1.121E-05	8.72E-07	-1.29E+01	1.02E-37
a5	-1.296E-03	2.86E-04	-4.52E+00	6.10E-06
b1	8.279E-01	1.63E-02	5.09E+01	0.00E+00
b2	-2.725E-05	4.74E-06	-5.74E+00	9.39E-09
b5	-2.552E-02	2.96E-03	-8.62E+00	6.91E-18
Residual standard error: 4.233				
Degrees of freedom: 19087				
Correlation: 0.971				

**Tabla D.119:** Modelo de ptsf en la configuración 050\_20

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	-1.553E-02	2.21E-03	-7.03E+00	2.21E-12
a2	-4.063E-06	1.15E-06	-5.52E+00	4.29E-04
a5	-1.116E-03	4.40E-04	-2.54E+00	1.12E-02
b1	7.278E-01	1.94E-02	3.75E+01	1.35E-297
b2	-1.668E-05	7.50E-06	-2.23E+00	2.61E-02
b5	-9.511E-03	3.70E-03	-2.57E+00	1.02E-02
Residual standard error: 4.622				
Degrees of freedom: 19185				
Correlation: 0.966				

**Tabla D.120:** Modelo de ptsf en la configuración 100\_00

### D.3.3 Adelantamientos

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	2.468E+00	2.72E-02	9.08E+01	0.00E+00	
Vd	6.647E-03	8.31E-05	8.00E+01	0.00E+00	3.58E-02
Vo	7.040E-06	8.41E-05	8.37E-02	9.33E-01	3.80E-05
$V_d^2$	-3.450E-06	6.48E-08	-5.32E+01	0.00E+00	-2.62E-02
$V_o^2$	-3.853E-06	7.11E-08	-5.42E+01	0.00E+00	-2.93E-02
Vd:Vo	8.637E-07	6.91E-08	1.25E+01	1.15E-35	4.65E-06

Null deviance: 13044 on 18973 degrees of freedom  
 Residual deviance: 48902 on 18978 degrees of freedom  
 AIC: 155118  
 Correlation: 0.877

**Tabla D.121:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 000\_01

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	2.139E+00	2.88E-02	7.43E+01	0.00E+00	
Vd	5.717E-03	8.85E-05	6.46E+01	0.00E+00	5.74E-02
Vo	7.300E-04	9.11E-05	8.02E+00	1.15E-15	7.34E-03
$V_d^2$	-3.047E-06	6.98E-08	-4.37E+01	0.00E+00	-4.30E-02
$V_o^2$	-4.570E-06	8.05E-08	-5.67E+01	0.00E+00	-6.45E-02
Vd:Vo	8.651E-07	7.83E-08	1.11E+01	2.64E-28	8.69E-06

Null deviance: 12059 on 19118 degrees of freedom  
 Residual deviance: 47207 on 19123 degrees of freedom  
 AIC: 134416  
 Correlation: 0.868

**Tabla D.122:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_01

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	1.725E+00	2.76E-02	6.25E+01	0.00E+00	
Vd	6.281E-03	8.32E-05	7.55E+01	0.00E+00	5.20E-02
Vo	2.364E-03	8.44E-05	2.80E+01	2.79E-169	1.96E-02

$V_d^2$	-3.225E-06	6.49E-08	-4.97E+01	0.00E+00	-3.75E-02
$V_\sigma^2$	-4.901E-06	7.03E-08	-6.97E+01	0.00E+00	-5.71E-02
Vd:Vo	3.078E-07	6.71E-08	4.59E+00	4.56E-06	2.55E-06

Null deviance: 13234 on 19112 degrees of freedom  
 Residual deviance: 43935 on 19117 degrees of freedom  
 AIC: 148808  
 Correlation: 0.869

**Tabla D.123:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_012

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	2.426E+00	3.15E-02	7.71E+01	0.00E+00	
Vd	5.230E-03	9.66E-05	5.41E+01	0.00E+00	7.50E-02
Vo	-1.429E-03	9.96E-05	-1.43E+01	1.90E-46	-2.05E-02
$V_d^2$	-2.549E-06	7.56E-08	-3.37E+01	3.93E-242	-5.14E-02
$V_\sigma^2$	-2.304E-06	8.56E-08	-2.69E+01	1.53E-156	-4.64E-02
Vd:Vo	-2.522E-07	8.35E-08	-3.02E+00	2.34E-03	-3.62E-06

Null deviance: 12398 on 19114 degrees of freedom  
 Residual deviance: 45504 on 19119 degrees of freedom  
 AIC: 120641  
 Correlation: 0.862

**Tabla D.124:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_013

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	2.059E+00	2.56E-02	8.03E+01	0.00E+00	
Vd	5.952E-03	7.88E-05	7.55E+01	0.00E+00	6.80E-02
Vo	4.309E-04	8.07E-05	5.34E+00	9.34E-08	4.93E-05
$V_d^2$	-3.168E-06	6.18E-08	-5.12E+01	0.00E+00	-5.09E-02
$V_\sigma^2$	-3.964E-06	6.98E-08	-5.68E+01	0.00E+00	-6.37E-02
Vd:Vo	5.164E-07	6.79E-08	7.60E+00	3.04E-14	5.90E-06

Null deviance: 11171 on 19101 degrees of freedom  
 Residual deviance: 43835 on 19106 degrees of freedom  
 AIC: 132838  
 Correlation: 0.872

**Tabla D.125:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_02

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	2.098E+00	2.30E-02	9.10E+01	0.00E+00	
Vd	5.369E-03	6.94E-05	7.74E+01	0.00E+00	6.36E-02
Vo	9.658E-04	6.99E-05	1.38E+01	3.36E-43	1.14E-02
$V_d^2$	-2.719E-06	5.38E-08	-5.05E+01	0.00E+00	-4.54E-02
$V_\sigma^2$	-3.452E-06	5.70E-08	-6.06E+01	0.00E+00	-5.76E-02
Vd:Vo	1.305E-07	5.41E-08	2.41E+00	1.59E-02	1.55E-06

Null deviance: 11299 on 19171 degrees of freedom  
 Residual deviance: 35962 on 19176 degrees of freedom  
 AIC: 145277  
 Correlation: 0.886

**Tabla D.126:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_022

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	2.108E+00	2.38E-02	8.84E+01	0.00E+00	
Vd	5.450E-03	7.18E-05	7.59E+01	0.00E+00	5.91E-02
Vo	1.774E-03	7.25E-05	2.45E+01	2.94E-130	1.92E-02
$V_d^2$	-2.881E-06	5.57E-08	-5.17E+01	0.00E+00	-4.39E-02
$V_\sigma^2$	-4.171E-06	5.97E-08	-6.99E+01	0.00E+00	-6.35E-02
Vd:Vo	2.871E-08	5.68E-08	5.05E-01	6.13E-01	3.11E-07

Null deviance: 11264 on 19148 degrees of freedom  
 Residual deviance: 37415 on 19153 degrees of freedom  
 AIC: 146817  
 Correlation: 0.869

**Tabla D.127:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_023

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	1.145E+00	3.26E-02	3.51E+01	1.14E-261	
Vd	5.046E-03	9.74E-05	5.18E+01	0.00E+00	8.43E-02
Vo	3.291E-03	9.98E-05	3.30E+01	3.98E-232	5.50E-02
$V_d^2$	-2.962E-06	7.57E-08	-3.91E+01	2.08E-322	-6.96E-02
$V_\sigma^2$	-5.116E-06	8.34E-08	-6.14E+01	0.00E+00	-1.20E-01
Vd:Vo	3.740E-07	7.99E-08	4.68E+00	2.86E-06	6.25E-06

Null deviance: 16761 on 19116 degrees of freedom  
 Residual deviance: 37583 on 19121 degrees of freedom  
 AIC: 123269  
 Correlation: 0.545

**Tabla D.128:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_024



Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	2.203E+00	2.44E-02	9.04E+01	0.00E+00	
Vd	5.216E-03	7.37E-05	7.08E+01	0.00E+00	6.31E-02
Vo	1.030E-03	7.44E-05	1.38E+01	2.19E-43	1.25E-02
$V_d^2$	-2.674E-06	5.73E-08	-4.66E+01	0.00E+00	-4.55E-02
$V_o^2$	-3.702E-06	6.17E-08	-6.00E+01	0.00E+00	-6.30E-02
Vd:Vo	-4.436E-08	5.91E-08	-7.51E-01	4.53E-01	-5.36E-07

Null deviance: 11126 on 19111 degrees of freedom  
 Residual deviance: 38255 on 19116 degrees of freedom  
 AIC: 139799  
 Correlation: 0.866

**Tabla D.129:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_025

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	1.351E+00	4.00E-02	3.38E+01	3.29E-243	
Vd	4.645E-03	1.20E-04	3.87E+01	8.56E-316	8.56E-02
Vo	2.423E-03	1.23E-04	1.97E+01	3.27E-85	4.47E-02
$V_d^2$	-2.953E-06	9.36E-08	-3.15E+01	6.77E-213	-7.64E-02
$V_o^2$	-4.570E-06	1.04E-07	-4.41E+01	0.00E+00	-1.19E-01
Vd:Vo	5.027E-07	1.00E-07	5.02E+00	5.55E-07	9.26E-06

Null deviance: 28008 on 19144 degrees of freedom  
 Residual deviance: 47332 on 19149 degrees of freedom  
 AIC: 115252  
 Correlation: 0.447

**Tabla D.130:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_026

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	2.014E+00	2.50E-02	8.06E+01	0.00E+00	
Vd	5.950E-03	7.62E-05	7.81E+01	0.00E+00	7.52E-02
Vo	2.523E-04	7.80E-05	3.23E+00	1.22E-03	3.19E-03
$V_d^2$	-3.226E-06	5.98E-08	-5.40E+01	0.00E+00	-5.73E-02
$V_o^2$	-3.827E-06	6.75E-08	-5.67E+01	0.00E+00	-6.80E-02
Vd:Vo	5.814E-07	6.56E-08	8.86E+00	8.70E-19	7.35E-06

Null deviance: 10696 on 19139 degrees of freedom  
 Residual deviance: 42389 on 19144 degrees of freedom  
 AIC: 130463  
 Correlation: 0.871

**Tabla D.131:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_03

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	1.947E+00	2.55E-02	7.63E+01	0.00E+00	
Vd	5.759E-03	7.73E-05	7.45E+01	0.00E+00	8.57E-02
Vo	2.417E-04	7.91E-05	3.06E+00	2.24E-03	3.60E-03
$V_d^2$	-3.152E-06	6.02E-08	-5.24E+01	0.00E+00	-6.59E-02
$V_o^2$	-3.668E-06	6.76E-08	-5.43E+01	0.00E+00	-7.67E-02
Vd:Vo	5.463E-07	6.52E-08	8.38E+00	5.70E-17	8.13E-06

Null deviance: 10846 on 19162 degrees of freedom  
 Residual deviance: 40495 on 19167 degrees of freedom  
 AIC: 127499  
 Correlation: 0.865

**Tabla D.132:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_04

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	1.945E+00	2.22E-02	8.76E+01	0.00E+00	
Vd	5.390E-03	6.74E-05	8.00E+01	0.00E+00	8.04E-02
Vo	5.789E-04	6.82E-05	8.49E+00	2.20E-17	8.64E-03
$V_d^2$	-2.766E-06	5.25E-08	-5.26E+01	0.00E+00	-5.80E-02
$V_o^2$	-3.328E-06	5.65E-08	-5.89E+01	0.00E+00	-6.98E-02
Vd:Vo	2.430E-07	5.41E-08	4.49E+00	7.22E-06	3.62E-06

Null deviance: 10222 on 19057 degrees of freedom  
 Residual deviance: 35225 on 19062 degrees of freedom  
 AIC: 134438  
 Correlation: 0.879

**Tabla D.133:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_042

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	1.814E+00	2.48E-02	7.31E+01	0.00E+00	
Vd	5.497E-03	7.56E-05	7.27E+01	0.00E+00	1.01E-01
Vo	3.895E-04	7.73E-05	5.04E+00	4.71E-07	7.13E-03
$V_d^2$	-3.020E-06	5.92E-08	-5.10E+01	0.00E+00	-7.76E-02
$V_o^2$	-3.677E-06	6.66E-08	-5.52E+01	0.00E+00	-9.45E-02
Vd:Vo	5.616E-07	6.48E-08	8.67E+00	4.55E-18	1.03E-05

Null deviance: 10438 on 19102 degrees of freedom  
 Residual deviance: 37805 on 19107 degrees of freedom  
 AIC: 122373  
 Correlation: 0.857

**Tabla D.134:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_05

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	1.414E+00	2.33E-02	6.07E+01	0.00E+00	
Vd	5.563E-05	7.07E-05	7.87E+01	0.00E+00	1.35E-01
Vo	9.493E-04	7.20E-05	1.32E+01	1.68E-39	2.30E-02
$V_d^2$	-3.066E-06	5.49E-08	-5.59E+01	0.00E+00	-1.04E-01
$V_o^2$	-3.598E-06	6.05E-08	-5.95E+01	0.00E+00	-1.22E-01
Vd:Vo	3.498E-07	5.85E-08	5.98E+00	2.33E-09	8.47E-06

Null deviance: 9939 on 19041 degrees of freedom  
 Residual deviance: 32557 on 19046 degrees of freedom  
 AIC: 118971  
 Correlation: 0.855

**Tabla D.135:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_07

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	2.440E-01	3.00E-02	8.14E+00	4.33E-16	
Vd	4.706E-03	8.88E-05	5.30E+01	0.00E+00	2.47E-01
Vo	3.013E-03	9.19E-05	3.28E+01	3.50E-229	1.58E-01
$V_d^2$	-2.545E-06	6.85E-08	-3.71E+01	1.60E-291	-1.88E-01
$V_o^2$	-4.654E-06	7.88E-08	-5.91E+01	0.00E+00	-3.43E-01
Vd:Vo	1.496E-07	7.54E-08	1.98E+00	4.72E-02	7.85E-06

Null deviance: 12995 on 19121 degrees of freedom  
 Residual deviance: 29734 on 19126 degrees of freedom  
 AIC: 92954  
 Correlation: 0.673

**Tabla D.136:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_10

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	3.862E-01	2.81E-02	1.37E+01	1.18E-42	
Vd	4.739E-03	8.34E-05	5.68E+01	0.00E+00	2.56E-01
Vo	2.686E-03	8.60E-05	3.12E+01	9.68E-209	1.45E-01
$V_d^2$	-2.674E-06	6.44E-08	-4.16E+01	0.00E+00	-2.03E-01
$V_o^2$	-4.322E-06	7.30E-08	-5.92E+01	0.00E+00	-3.28E-01
Vd:Vo	1.368E-07	7.10E-08	1.93E+00	5.41E-02	7.38E-06

Null deviance: 12548 on 19104 degrees of freedom  
 Residual deviance: 28239 on 19109 degrees of freedom  
 AIC: 94499  
 Correlation: 0.678

**Tabla D.137:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_102

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	-1.152E+00	5.60E-02	-2.06E+01	4.93E-95	
Vd	3.977E-03	1.55E-04	2.56E+01	1.93E-142	4.12E-01
Vo	5.177E-03	1.65E-04	3.14E+01	7.52E-211	5.37E-01
$V_d^2$	-2.825E-06	1.18E-07	-2.40E+01	1.38E-125	-4.11E-01
$V_o^2$	-5.727E-06	1.40E-07	-4.08E+01	0.00E+00	-8.33E-01
Vd:Vo	6.661E-07	1.37E-07	4.88E+00	1.09E-06	6.90E-05

Null deviance: 29555 on 19087 degrees of freedom  
 Residual deviance: 37490 on 19092 degrees of freedom  
 AIC: 62406  
 Correlation: 0.321

**Tabla D.138:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 050\_20

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )	Beta
Intercept	-3.279E+01	2.98E-02	-1.10E+03	0.00E+00	
Vd	-6.593E-15	8.93E-05	-7.38E-11	1.00E+00	-Inf
Vo	4.183E-15	8.91E-05	4.69E-11	1.00E+00	Inf
$V_d^2$	3.972E-18	6.94E-08	5.72E-11	1.00E+00	Inf
$V_o^2$	-2.773E-18	6.93E-08	-4.00E-11	1.00E+00	-Inf
Vd:Vo	-4.978E-20	6.35E-08	-7.83E-13	1.00E+00	-Inf

Null deviance: 0 on 19185 degrees of freedom  
 Residual deviance: NA on 19190 degrees of freedom  
 AIC: 12  
 Correlation: NA

**Tabla D.139:** Resumen del modelo de adelantamientos en la configuración 100\_00

## D.4 Modelos previos global

### D.4.1 Velocidad media







Estadísticos				P-value				Beta											
AIC	Δ AIC	R2	cor	modelo	nvar	coef	Vd	Vo	HVD	Pzna	Vd2	Vo2	HVD2	Pzna	Vd3	Vo3	HVD3	Pzna	
186481	7167	20.96	0.46	3	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186481	7167	20.96	0.46	3	5	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186481	7167	20.96	0.46	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186481	7167	20.96	0.46	3	4	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186500	7186	20.92	0.46	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186500	7186	20.92	0.46	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186519	7205	20.88	0.46	3	4	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186519	7205	20.88	0.46	3	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186520	7216	20.86	0.46	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186520	7216	20.86	0.46	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186735	7419	20.44	0.45	3	4	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186735	7419	20.44	0.45	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186783	7469	20.33	0.45	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186783	7469	20.33	0.45	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186792	7478	20.31	0.45	3	4	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186792	7478	20.31	0.45	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186794	7480	20.31	0.45	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186794	7480	20.31	0.45	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186879	7565	20.13	0.45	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186879	7565	20.13	0.45	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186919	7605	20.05	0.45	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
186919	7605	20.05	0.45	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
191609	12295	9.65	0.31	3	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
191992	12678	8.75	0.30	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
192056	12742	8.58	0.29	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
192110	12796	8.45	0.29	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
192382	13068	7.79	0.28	3	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
192489	13175	7.54	0.28	3	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
192618	13504	7.22	0.27	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
192909	13595	6.51	0.26	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195761	14447	4.42	0.21	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195761	14447	4.42	0.21	3	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194116	14802	3.55	0.19	3	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194116	14802	3.55	0.19	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194182	14868	3.56	0.18	3	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194182	14868	3.56	0.18	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194224	14910	3.25	0.18	3	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194224	14910	3.25	0.18	3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194477	15165	2.61	0.16	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194477	15165	2.61	0.16	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194585	15269	2.54	0.15	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194585	15269	2.54	0.15	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194705	15589	2.03	0.14	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194705	15589	2.03	0.14	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194975	15659	1.33	0.12	3	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
194975	15659	1.33	0.12	3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla D.140: Indicadores del ajuste. Ajuste de la velocidad media en función del porcentaje de zona de adelantamiento no permitido

Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
2.6020	0.0814	31.96	0.0000
-0.0166	0.0004	-39.10	0.0000
0.0271	0.0011	24.35	0.0000
-0.0642	0.0006	-107.10	0.0000
0.0000	0.0000	40.35	0.0000
-0.0000	0.0000	-40.98	0.0000
0.0001	0.0000	117.90	0.0000

Tabla D.141: Modelo para ajuste de velocidad media - NPZ

## D.4.2 Porcentaje de tiempo en cola

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	$1,892 \times 10^{-1}$	$2,547 \times 10^{-3}$	74.29	<2e-16
b1	$5,103 \times 10^{-3}$	$4,213 \times 10^{-5}$	121.13	<2e-16

Residual standard error: 8.466 on 38306 degrees of freedom  
Number of iterations to convergence: 15  
Achieved convergence tolerance: 7.842e-06

Tabla D.142: Modelo 1 para ajuste de porcentaje de tiempo en cola - NPZ

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a1	$-1,461 \times 10^{-2}$	$5,680 \times 10^{-4}$	-25.72	$2 \times 10^{-16}$
a2	$6,803 \times 10^{-1}$	$3,025 \times 10^{-3}$	224.91	$2 \times 10^{-16}$
b1	$-1,913 \times 10^{-4}$	$2,256 \times 10^{-5}$	-8.48	$2 \times 10^{-16}$
b3	$4,161 \times 10^{-3}$	$2,744 \times 10^{-5}$	151.64	$2 \times 10^{-16}$

Residual standard error: 4.939 on 38304 degrees of freedom  
Number of iterations to convergence: 8  
Achieved convergence tolerance: 2.819e-06

Tabla D.143: Modelo 2 para ajuste de porcentaje de tiempo en cola - NPZ

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
a0	$-2,686 \times 10^1$	$8,898 \times 10^{-1}$	-30.19	$2 \times 10^{-16}$
a1	$1,224 \times 10^{-1}$	$2,161 \times 10^{-3}$	56.66	$2 \times 10^{-16}$
a2	$5,731 \times 10^{-1}$	$1,102 \times 10^{-2}$	51.99	$2 \times 10^{-16}$
a3 -	$2,482 \times 10^{-2}$	$1,644 \times 10^{-3}$	-15.10	$2 \times 10^{-16}$
b1	$2,531 \times 10^{-3}$	$2,241 \times 10^{-5}$	112.94	$2 \times 10^{-16}$
b2 -	$1,059 \times 10^{-2}$	$2,641 \times 10^{-4}$	-40.08	$2 \times 10^{-16}$
b3	$3,711 \times 10^{-3}$	$4,504 \times 10^{-5}$	82.39	$2 \times 10^{-16}$

Residual standard error: 4.488 on 38301 degrees of freedom  
Number of iterations to convergence: 18  
Achieved convergence tolerance: 4.809e-06

Tabla D.144: Modelo 3 para ajuste de porcentaje de tiempo en cola - NPZ

## D.4.3 Adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
Coef	1.3583	0.0100	135.96	0.0000
Vd	0.0057	0.0000	192.54	0.0000
Vo	0.0006	0.0000	18.28	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-132.77	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-146.75	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	21.11	0.0000
Lza	0.0001	0.0000	186.68	0.0000

Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom  
Residual deviance: 161444 on 171861 degrees of freedom  
AIC: 1117647

Tabla D.145: Modelo 1 para estimación de número de adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
Coef	1.4535	0.0105	138.65	0.0000
Vd	0.0056	0.0000	186.93	0.0000
Vo	0.0005	0.0000	17.76	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-134.39	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-146.87	0.0000
Lza	0.0000	0.0000	21.09	0.0000
Vd:Vo	0.0001	0.0000	72.19	0.0000
Vd:Lza	0.0000	0.0000	26.71	0.0000

Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom  
Residual deviance: 160933 on 171860 degrees of freedom  
AIC: 1117138

Tabla D.146: Modelo 2 para estimación de número de adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
-----------	----------	------------	---------	-----------

Coef	1.4578	0.0119	121.12	0.0000
Vd	0.0057	0.0000	147.05	0.0000
Vo	0.0005	0.0000	17.76	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-108.60	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-146.84	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	21.05	0.0000
Lza	0.0001	0.0000	45.80	0.0000
Vd:Lza	0.0000	0.0000	3.25	0.0012
Vd2:Lza 0.0000	0.0000	2.62	0.0087	

Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom  
Residual deviance: 160928 on 171859 degrees of freedom  
AIC: 1117155

**Tabla D.147:** Modelo 3 para estimación de número de adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
Coef	-2.7159	0.0194	-139.67	0.0000
Vd	0.0056	0.0000	191.07	0.0000
Vo	0.0008	0.0000	25.05	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-135.54	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-152.11	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	22.58	0.0000
log(Lza)	0.5985	0.0025	265.06	0.0000

Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom  
Residual deviance: 145485 on 171861 degrees of freedom  
AIC: 1099687

**Tabla D.148:** Modelo 4 para estimación de número de adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
Coef	-1.9694	0.0355	-58.77	0.0000
Vd	0.0046	0.0001	89.09	0.0000
Vo	0.0007	0.0000	24.16	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-155.54	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-152.16	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	22.86	0.0000
log(Lza)	0.4969	0.0044	112.85	0.0000
Vd:log(Lza)	0.0002	0.0000	26.06	0.0000

Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom  
Residual deviance: 145047 on 171860 degrees of freedom  
AIC: 1099255

**Tabla D.149:** Modelo 5 para estimación de número de adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
Coef	-2.2607	0.0543	-41.64	0.0000
Vd	0.0058	0.0002	29.81	0.0000
Vo	0.0007	0.0000	24.15	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-28.58	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-152.11	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	22.75	0.0000
log(Lza)	0.5366	0.0073	75.66	0.0000
Vd:log(Lza)	-0.0000	0.0000	-0.59	0.5548
Vd2:log(Lza)	0.0000	0.0000	6.54	0.0000

Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom  
Residual deviance: 145024 on 171859 degrees of freedom  
AIC: 1099251

**Tabla D.150:** Modelo 6 para estimación de número de adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
Coef	0.7873	0.0106	74.04	0.0000
Vd	0.0057	0.0000	192.72	0.0000
Vo	0.0006	0.0000	20.64	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-135.57	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-148.93	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	21.57	0.0000
$\sqrt{Lza}$	0.0208	0.0001	219.47	0.0000

Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom  
Residual deviance: 154108 on 171861 degrees of freedom  
AIC: 1110512

**Tabla D.151:** Modelo 7 para estimación de número de adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
Coef	0.9801	0.0126	77.80	0.0000
Vd	0.0054	0.0000	174.29	0.0000
Vo	0.0006	0.0000	19.94	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-135.33	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-149.00	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	21.72	0.0000
$\sqrt{Lza}$	0.0165	0.0002	89.58	0.0000
Vd: $\sqrt{Lza}$	0.0000	0.0000	26.38	0.0000

Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom  
Residual deviance: 153645 on 171860 degrees of freedom  
AIC: 1109851

**Tabla D.152:** Modelo 8 para estimación de número de adelantamientos



Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
Coef	0.9289	0.0168	55.43	0.0000
Vd	0.0056	0.0001	98.29	0.0000
Vo	0.0006	0.0000	19.94	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-77.62	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-148.96	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	21.66	0.0000
$\sqrt{Lza}$	0.0176	0.0005	57.79	0.0000
Vd: $\sqrt{Lza}$	0.0000	0.0000	1.49	0.1359
Vd2: $\sqrt{Lza}$	0.0000	0.0000	4.30	0.0000
Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom				
Residual deviance: 153634 on 171859 degrees of freedom				
AIC: 1109841				

**Tabla D.153:** Modelo 9 para estimación de número de adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
Coef	0.1895	0.0117	16.13	0.0000
Vd	0.0057	0.0000	192.50	0.0000
Vo	0.0007	0.0000	21.87	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-133.74	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-149.92	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	21.83	0.0000
$\sqrt[3]{Lza}$	0.1240	0.0005	233.66	0.0000
Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom				
Residual deviance: 150827 on 171861 degrees of freedom				
AIC: 1107050				

**Tabla D.154:** Modelo 10 para estimación de número de adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
Coef	0.4824	0.0157	30.68	0.0000
Vd	0.0053	0.0000	157.50	0.0000
Vo	0.0006	0.0000	21.10	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-135.56	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-149.97	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	22.04	0.0000
$\sqrt[3]{Lza}$	0.1000	0.0010	97.15	0.0000
Vd: $\sqrt[3]{Lza}$	0.0000	0.0000	26.23	0.0000
Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom				
Residual deviance: 150379 on 171860 degrees of freedom				
AIC: 1106584				

**Tabla D.155:** Modelo 11 para estimación de número de adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
Coef	0.3926	0.0230	17.08	0.0000
Vd	0.0056	0.0001	70.04	0.0000
Vo	0.0006	0.0000	21.09	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-57.91	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-149.95	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	21.96	0.0000
$\sqrt[3]{Lza}$	0.1073	0.0017	62.96	0.0000
Vd: $\sqrt[3]{Lza}$	0.0000	0.0000	0.80	0.4233
Vd2: $\sqrt[3]{Lza}$	0.0000	0.0000	4.96	0.0000
Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom				
Residual deviance: 150564 on 171859 degrees of freedom				
AIC: 1106572				

**Tabla D.156:** Modelo 12 para estimación de número de adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
Coef	-0.4118	0.0151	-31.33	0.0000
Vd	0.0057	0.0000	192.29	0.0000
Vo	0.0007	0.0000	22.58	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-133.78	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-150.47	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	21.99	0.0000
$\sqrt[4]{Lza}$	0.3264	0.0014	241.12	0.0000
Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom				
Residual deviance: 149054 on 171861 degrees of freedom				
AIC: 1105258				

**Tabla D.157:** Modelo 13 para estimación de número de adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
Coef	-0.0177	0.0194	-0.92	0.3600
Vd	0.0051	0.0000	139.85	0.0000
Vo	0.0007	0.0000	21.78	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-135.63	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-150.51	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	22.22	0.0000
$\sqrt[4]{Lza}$	0.2654	0.0026	101.14	0.0000
Vd: $\sqrt[4]{Lza}$	0.0001	0.0000	26.16	0.0000
Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom				
Residual deviance: 148613 on 171860 degrees of freedom				
AIC: 1104818				

**Tabla D.158:** Modelo 14 para estimación de número de adelantamientos

Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Coef	-0.1468	0.0297	-4.94	0.0000
Vd	0.0057	0.0001	53.73	0.0000
Vo	0.0007	0.0000	21.77	0.0000
Vd2	-0.0000	0.0000	-46.11	0.0000
Vo2	-0.0000	0.0000	-150.47	0.0000
Vd:Vo	0.0000	0.0000	22.14	0.0000
$\sqrt[4]{Lza}$	0.2853	0.0043	65.67	0.0000
Vd: $\sqrt[4]{Lza}$	0.0000	0.0000	0.45	0.6549
Vd2: $\sqrt[4]{Lza}$	0.0000	0.0000	5.31	0.0000

Null deviance: 462147 on 171867 degrees of freedom  
Residual deviance: 148596 on 171859 degrees of freedom  
AIC: 1104803

Tabla D.159: Modelo 15 para estimación de número de adelantamientos

## D.5 Modelos finales

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
a0	2.6020	0.0814	31.96	0.0000
a1	-0.0166	0.0004	-39.10	0.0000
a2	0.0271	0.0011	24.33	0.0000
a3	-0.0642	0.0006	-107.10	0.0000
b1	0.0000	0.0000	40.35	0.0000
b2	-0.0000	0.0000	-40.98	0.0000
b3	0.0001	0.0000	117.90	0.0000

Tabla D.160: Modelo para ajuste de velocidad media - NPZ

Variable	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
a0	-26.86	0.889	-30.19	0.0000
a1	0.122	0.002161	56.66	0.0000
a2	0.573	0.01102	51.99	0.0000
a3	-0.02482	0.001644	-15.10	0.0000
b1	0.00253	0.00002241	112.94	0.0000
b2	-0.01059	0.0002641	-40.08	0.0000
b3	0.0037	0.000045	82.39	0.0000

Tabla D.161: Modelo para ajuste de porcentaje de tiempo en cola - NPZ