

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	ANTECEDENTES.....	5
3.	ESTADO DEL ARTE	7
3.1.	Metodologías de toma de datos	8
3.1.1.	Toma de datos para restitución de la geometría de la vía.....	8
3.1.1.1.	Imágenes de satélite de alta resolución.....	8
3.1.1.2.	Utilización de datos procedentes de GPS.....	9
3.1.2.	Toma de datos relacionados con factor humano y vehículo.....	12
3.1.3.	Toma de datos de velocidades.....	13
3.1.3.1.	Toma de datos puntuales.....	14
3.1.3.2.	Toma de datos continuos.....	16
3.2.	La velocidad. Conceptos generales	18
3.2.1.	Velocidad de diseño	18
3.2.2.	Velocidad de proyecto	20
3.2.3.	Velocidad de operación	22
3.2.4.	Velocidad específica.....	22
3.2.5.	Velocidad de diseño inferida	23
3.2.6.	Velocidad límite	23
3.2.7.	Velocidad deseada	24
3.3.	La velocidad de operación	25
3.3.1.	Distribución de la velocidad de operación	25
3.3.2.	Variables condicionantes de la velocidad de operación	27
3.3.2.1.	Factores externos a la vía.....	27
3.3.2.2.	Factores internos de la vía.....	32
3.4.	La velocidad de operación y el factor humano y el vehículo	37
3.4.1.	La evaluación del riesgo asumido y los estilos de conducción mediante cuestionarios y autoinformes.....	38
3.4.2.	La velocidad como medida del riesgo asumido y los estilos de conducción	41
3.5.	La velocidad de operación y la geometría de la carretera.....	46

3.5.1.	Modelización de la velocidad de operación en curvas.....	47
3.5.1.1.	Variables condicionantes	48
3.5.1.2.	Modelos para la estimación de velocidad de operación en curvas	52
3.5.2.	Modelización de la velocidad de operación en rectas	60
3.5.2.1.	Variables condicionantes	61
3.5.2.2.	Modelos para la estimación de velocidad de operación en rectas	63
3.5.3.	Modelización de las variaciones de velocidad en las transiciones recta- curva.....	67
3.5.4.	Modelización de las tasas de deceleración y aceleración	71
3.5.5.	Perfiles de velocidad de operación.....	76
3.5.5.1.	Modelo suizo.....	76
3.5.5.2.	Modelo de Rocci (1993).....	76
3.5.5.3.	Modelo de Ottesen y Krammes (2000)	86
3.5.5.4.	Modelo de Fitzpatrick y Collins (2000)	90
3.5.5.5.	Modelo de Easa (2003).....	96
3.5.5.6.	Modelo de Crisman et al. (2005).....	105
3.5.5.7.	Modelo de Polus (2004).....	105
3.5.5.8.	Modelo de Dell'Acqua y Russo (2010).....	106
3.5.6.	Modelos avanzados.....	106
3.5.6.1.	Modelos mediante redes neuronales	107
3.5.6.2.	Aplicación al IHSDM	107
3.6.	Evaluación de los estudios analizados.....	112
3.6.1.	Evaluación de los métodos utilizados en la restitución de la geometría	112
3.6.2.	Evaluación de los estudios relacionados con el factor humano y el vehículo	113
3.6.3.	Deficiencias de los modelos de estimación de velocidad de operación en función de la geometría	114
3.6.3.1.	Deficiencias relacionadas con la toma de datos	114
3.6.3.2.	Hipótesis no realistas sobre el comportamiento de los conductores	116

3.6.3.3.	Estimación de los cambios de velocidad entre elementos geométricos	117
3.6.3.4.	Falta de uniformidad entre los modelos	117
3.6.3.5.	Escasez de modelos con la consideración de los vehículos pesados	118
3.6.3.6.	Limitaciones de la regresión lineal	118
3.6.3.7.	Aplicabilidad limitada de los modelos	119
4.	OBJETIVOS	123
4.1.	Objetivo principal.....	123
4.2.	Objetivos específicos	123
5.	HIPÓTESIS	125
6.	MÉTODO.....	127
6.1.	Toma de datos	127
6.1.1.	Pruebas experimentales iniciales	128
6.1.2.	Diseño experimental.....	132
6.1.2.1.	Procedimiento experimental.....	133
6.1.2.2.	Medios empleados en la toma de datos.....	134
6.1.2.3.	Características básicas de los tramos de carretera de toma de datos	137
6.1.2.4.	Prueba piloto.....	138
6.2.	Tratamiento de los datos.....	139
6.2.1.	Tratamiento de los datos de las encuestas	139
6.2.2.	Tratamiento de los datos procedentes de los GPS	140
6.2.2.1.	Depuración y tratamiento de los datos.....	140
6.2.2.2.	Desarrollo de una aplicación informática	142
6.3.	Análisis.....	142
6.3.1.	Estudio de la relación entre las variables	143
6.3.2.	Desarrollo de los modelos para la estimación del perfil continuo de velocidad de operación.....	144
6.3.3.	Estudio de la influencia de las características del conductor, del viaje y del tipo de vehículo.....	146
7.	DESARROLLO	149
7.1.	Toma de datos	149

7.1.1.	Trabajos previos a las jornadas de toma de datos	149
7.1.2.	Prueba piloto	150
7.1.2.1.	Jornada de toma de datos CV-245 [Glorieta Casinos – Alcublas]	150
7.1.2.2.	Jornada de toma de datos CV-245 [Alcublas – Altura]	158
7.1.2.3.	Resultados de la comprobación del carácter naturalístico de la toma de datos	163
7.1.2.4.	Modificaciones del diseño experimental tras la prueba piloto	170
7.1.3.	Campaña de toma de datos	172
7.1.3.1.	Localización y características de los tramos de estudio.....	172
7.1.3.2.	Desarrollo de la toma de datos	174
7.1.4.	Trabajos posteriores a las jornadas de toma de datos	175
7.2.	Tratamiento de datos	177
7.2.1.	Tratamiento de los datos de las encuestas	177
7.2.2.	Tratamiento de los datos procedentes de los GPS	180
7.2.2.1.	Depuración inicial de los datos brutos de los GPS	180
7.2.2.2.	Transformación de coordenadas	181
7.2.2.3.	Obtención de las trayectorias individuales	182
7.2.2.4.	Restitución de la geometría en planta.....	185
7.2.2.5.	Restitución de la geometría en alzado	235
7.2.2.6.	Cálculo de los perfiles continuos de velocidad.....	236
7.3.	Análisis.....	240
7.3.1.	Análisis de la velocidad en secciones curva.....	240
7.3.1.1.	Secciones curva a estudiar	240
7.3.1.2.	Variables consideradas en el estudio de la velocidad en curvas	244
7.3.1.3.	Distribución de la velocidad en secciones curva	247
7.3.1.4.	Modelización de la media de la velocidad en secciones curva ..	251
7.3.1.5.	Modelización de la desviación típica de la velocidad en secciones curva	256
7.3.1.6.	Modelización de la V_{85} en secciones curva.....	259
7.3.1.7.	Estudio de la velocidad elegida por los conductores en secciones curva	273

7.3.1.8.	Estudio de la velocidad desarrollada por los conductores en secciones curva	279
7.3.2.	Análisis de la velocidad en secciones recta	282
7.3.2.1.	Secciones recta a estudiar.....	283
7.3.2.2.	Variables consideradas en el estudio de la velocidad en rectas	287
7.3.2.3.	Distribución de la velocidad en secciones recta.....	290
7.3.2.4.	Modelización de la media de la velocidad en secciones recta ...	293
7.3.2.5.	Modelización de la desviación típica de la velocidad en secciones recta	297
7.3.2.6.	Modelización de la V_{85} en secciones recta	300
7.3.2.7.	Estudio de la velocidad elegida por los conductores en secciones recta.....	312
7.3.2.8.	Estudio de la velocidad desarrollada por los conductores en secciones recta	316
7.3.3.	Análisis de los diferenciales de velocidad en las transiciones recta–curva.....	319
7.3.3.1.	Secciones recta–curva a estudiar	320
7.3.3.2.	Variables consideradas en el estudio de las variaciones de velocidad en las transiciones recta-curva	322
7.3.3.3.	Modelización de los diferenciales de velocidad en las transiciones recta-curva	324
7.3.3.4.	Estudio de la deceleración	328
7.3.3.5.	Estudio de la tasa de deceleración elegida por los conductores	337
7.3.3.6.	Estudio de la tasa de deceleración desarrollada por los conductores	340
7.3.4.	Análisis de los diferenciales de velocidad en las transiciones curva–recta	343
7.3.4.1.	Secciones curva-recta a estudiar.....	344
7.3.4.2.	Variables consideradas en el estudio de las variaciones de velocidad en las transiciones curva-recta	346
7.3.4.3.	Estudio de la aceleración.....	348
7.3.4.4.	Estudio de la tasa de aceleración elegida por los conductores..	353
7.3.4.5.	Estudio de la tasa de aceleración desarrollada por los conductores	357

7.4.	Perfil continuo de velocidad de operación para la evaluación de la consistencia	360
7.4.1.	Modelos utilizados	360
7.4.1.1.	Estimación de la velocidad en curvas	360
7.4.1.2.	Estimación de la velocidad en rectas	361
7.4.1.3.	Estimación de la tasa de deceleración	363
7.4.1.4.	Estimación de la tasa de aceleración	364
7.4.2.	Reglas de construcción del modelo continuo de perfil de velocidad de operación en carreteras convencionales	365
7.5.	Validación del modelo para la estimación del perfil continuo de velocidad de operación en carreteras convencionales	371
7.5.1.	Resultados del análisis visual	372
7.5.2.	Análisis del comportamiento del modelo en curvas circulares	374
7.5.3.	Análisis del comportamiento del modelo en curvas de transición	377
7.5.4.	Análisis del comportamiento del modelo en rectas	379
8.	DISCUSIÓN	381
8.1.	La distribución de la velocidad en curvas vs la distribución de la velocidad en rectas	382
8.2.	La velocidad de operación en las curvas circulares	383
8.3.	La importancia de las curvas de transición	384
8.4.	La deceleración y la aceleración	387
8.5.	La influencia de la pendiente	389
8.5.1.	La influencia de la pendiente en la velocidad de operación en curvas	389
8.5.2.	La influencia de la pendiente en la velocidad de operación en rectas	391
8.5.3.	La influencia de la pendiente en los diferenciales de velocidad en las transiciones recta-curva	392
8.5.4.	La influencia de la pendiente en los diferenciales de velocidad en las transiciones curva-recta	394
8.6.	Rango de validez del modelo propuesto	396
8.7.	La velocidad y la deceleración/aceleración como medida del riesgo asumido y de los estilos de conducción	398

8.8.	La influencia del estilo de conducción en el diseño geométrico de carreteras.....	400
9.	APLICACIONES PRÁCTICAS.....	403
9.1.	Aplicación de la restitución de la geometría del trazado	403
9.2.	Aplicación del modelo para la estimación del perfil de velocidad de operación	403
9.3.	Aplicación de la caracterización de la velocidad desarrollada por los conductores.....	404
10.	APLICACIONES METODOLÓGICAS.....	407
10.1.	Aplicación de la metodología para la restitución de la geometría de un tramo de carretera.....	407
10.2.	Aplicación de la metodología de toma de datos de velocidad.....	407
10.3.	Recomendaciones para el posicionamiento de dispositivos de toma de datos puntual de velocidad.....	408
11.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	413
12.	CONCLUSIONES.....	417
13.	APORTACIONES	427
13.1.	RESULTADOS DE LA TESIS	427
13.2.	APORTACIONES METODOLÓGICAS	431

REFERENCIAS

ANEXOS

Anexo I: Tríptico entregado a los conductores.

Anexo II: Discurso y preguntas realizadas a los conductores.

Anexo III: Estadillos de recogida de datos de encuestas.

Anexo IV: Descripción completa de las jornadas de toma de datos.

A.IV.1 Jornada de toma de datos 1: CV-35 [Tuéjar – Titaguas]

A.IV.2 Jornada de toma de datos 2: CV-35 [Calles – Losa del Obispo]

A.IV.3 Jornada de toma de datos 3: CV-333 [Urb. Brugar – Urb. Pedravilla]

A.IV.4 Jornada de toma de datos 4: CV-50 [Cheste - Villamarchante]

A.IV.5 Jornada de toma de datos 5: CV-372 [La Pobla de Vallbona – Ribarroja del Turia]

A.IV.6 Jornada de toma de datos 6: CV-305 [CV-315 (Rutas) – CV-310 (Náquera)]

A.IV.7 Jornada de toma de datos 7: CV-370 [Villamarchante - Pedralba]

A.IV.8 Jornada de toma de datos 8: CV-401 [Alfajar – Carretera del Saler]

A.IV.9 Jornada de toma de datos 9: CV-376 [Pedralba - Lliria]

A.IV.10 Jornada de toma de datos 10: CV-310 [Bétera - Náquera]

Anexo V: Caracterización geométrica de los tramos estudiados.

A.V.1 Jornada de toma de datos 1: CV-35 [Tuéjar – Titaguas]

A.V.2 Jornada de toma de datos 2: CV-35 [Calles– Losa del Obispo]

A.V.3 Jornada de toma de datos 3: CV-333 [Urb. Brugar – Urb. Pedravilla]

A.V.4 Jornada de toma de datos 4: CV-50 [Cheste - Villamarchante]

A.V.5 Jornada de toma de datos 5: CV-372 [La Pobla de Vallbona – Ribarroja del Turia]

A.V.6 Jornada de toma de datos 6: CV-305 [CV-315 (Rutas) – CV-310 (Náquera)]

A.V.7 Jornada de toma de datos 7: CV-370 [Villamarchante - Pedralba]

A.V.8 Jornada de toma de datos 8: CV-401 [Alfajar – Carretera del Saler]

A.V.9 Jornada de toma de datos 9: CV-376 [Pedralba - Lliria]

A.V.10 Jornada de toma de datos 10: CV-310 [Bétera - Náquera]

Anexo VI: Perfiles continuos de velocidad de los tramos de estudio.

A.VI.1 Jornada de toma de datos 1: CV-35 [Tuéjar – Titaguas]

A.VI.2 Jornada de toma de datos 2: CV-35 [Calles– Losa del Obispo]

A.VI.3 Jornada de toma de datos 3: CV-333 [Urb. Brugar – Urb. Pedravilla]

A.VI.4 Jornada de toma de datos 4: CV-50 [Cheste - Villamarchante]

A.VI.5 Jornada de toma de datos 5: CV-372 [La Pobla de Vallbona – Ribarroja del Turia]

A.VI.6 Jornada de toma de datos 6: CV-305 [CV-315 (Rutas) – CV-310 (Náquera)]

A.VI.7 Jornada de toma de datos 7: CV-370 [Villamarchante - Pedralba]

A.VI.8 Jornada de toma de datos 8: CV-401 [Alfajar – Carretera del Saler]

A.VI.9 Jornada de toma de datos 9: CV-376 [Pedralba - Lliria]

A.VI.10 Jornada de toma de datos 10: CV-310 [Bétera - Náquera]

Anexo VII: Características geométricas de las curvas estudiadas.

Anexo VIII: La velocidad en las curvas.

A.VIII.1 Distribución de la velocidad en las curvas estudiadas

A.VIII.1.1 Representación gráfica de la distribución de la velocidad en las curvas estudiadas

A.VIII.1.2 Características de la distribución de la velocidad en las curvas estudiadas

A.VIII.2 Influencia de las variables geométricas en la velocidad en curvas

Anexo IX: Características geométricas de las rectas estudiadas.

Anexo X: La velocidad en las rectas.

A.X.1 Distribución de la velocidad en las rectas estudiadas

A.X.1.1 Representación gráfica de la distribución de la velocidad en las rectas estudiadas

A.X.1.2 Características de la distribución de la velocidad en las rectas estudiadas

A.X.2 Influencia de las variables geométricas en la velocidad en rectas

Anexo XI: Características geométricas de las transiciones recta-curva estudiadas.

Anexo XII: La velocidad en las transiciones recta-curva.

A.XII.1 Influencia de las variables geométricas en el decremento de la velocidad

A.XII.2 Influencia de las variables geométricas en la tasa de deceleración

Anexo XIII: Características geométricas de las transiciones curva-recta estudiadas.

Anexo XIV: La velocidad en las transiciones curva-recta.

Anexo XV: Perfiles de velocidad de operación estimados vs perfiles de velocidad de operación empíricos.

Anexo XVI: Publicaciones relacionadas con el trabajo de investigación.

A.XVI.1 Publicaciones directamente relacionadas

A.XVI.1.1 Revistas

A.XVI.1.2 Congresos nacionales

A.XVI.1.3 Congresos internacionales

A.XVI.1.4 Libros

A.XVI.2 Otras publicaciones relacionadas

A.XVI.2.1 Congresos nacionales

A.XVI.2.2 Congresos internacionales