



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

ESTUDIO PARA LA MEJORA DE LA SEGURIDAD VIAL DE LA
CARRETERA CV-25. TRAMO: OLOCAU - PUERTO DE
CHIRIVILLA, PP.KK. 9+500 A 24+800 (VALENCIA).

Presentado por

Gálvez Pérez, Daniel

Para la obtención del

Grado de Ingeniería Civil

Curso: 2017/2018

Fecha: julio de 2018

Tutor: José Manuel Campoy Ungría



DOCUMENTO N.º I

MEMORIA

MEMORIA

1	INTRODUCCIÓN AL TRABAJO DE FIN DE GRADO	1
2	INTRODUCCIÓN.....	2
2.1	Objeto y alcance.....	2
2.2	Localización	2
2.3	Descripción de la problemática	3
3	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	5
3.1	Estudio del tráfico	5
3.1.1	IMD del tramo objeto de estudio	5
3.1.2	IMD del año de puesta en servicio y horizonte	5
3.1.3	Porcentaje de vehículos pesados	6
3.1.4	Distribución horaria	7
3.1.5	Nivel de Servicio	7
3.2	Estudio del trazado actual	8
3.2.1	Comparativa histórica	8
3.2.2	Obtención de la geometría actual	9
3.2.3	Normativa de trazado	10
3.3	Seguridad Vial	11
3.3.1	Factores concurrentes	11
3.3.2	Estudio de la visibilidad	11
3.4	Estudio de la accidentalidad	13
3.4.1	Análisis cualitativo	13
3.4.2	Análisis cuantitativo	14
3.4.3	Estudios antes/después	15
3.4.4	Safety Performance Function (SPF)	15
3.5	Consistencia del trazado	16
3.5.1	Consideraciones previas	16
3.5.2	Velocidad de operación	17
3.5.3	Estabilidad del vehículo	18
3.5.4	Índices del trazado	19
3.5.5	Conclusiones	19
3.6	Modelos predictivos de la velocidad de operación.....	20
3.6.1	Modelos para curvas y rectas	20
3.6.2	Método de cálculo empleado	20
3.6.3	Resultados obtenidos	20
3.6.4	Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM)	22
3.6.5	Elección del modelo	22
3.6.6	Resultados finales	24
3.7	Análisis medioambiental.....	26

3.8	Señalización.....	27
3.9	Geología y geotecnia.....	28
3.9.1	Estratigrafía	28
3.9.2	Propuesta de campaña geotécnica	28
3.9.3	Estabilidad de taludes	29
3.9.4	Excavabilidad de los materiales	30
3.9.5	Diseño de muros de contención	30
3.9.6	Materiales para la explanada	30
4	PROPUESTAS DE MEJORA.....	33
4.1	Restricciones para un nuevo diseño	33
4.2	Criterios.....	33
4.2.1	Estudio de la visibilidad	33
4.2.2	Siniestralidad registrada	33
4.2.3	EuroRAP	34
4.2.4	Criterios de consistencia	34
4.3	Zonas en las que se precisa actuación.....	34
4.4	Mejoras propuestas tipo	35
4.4.1	Modificación del trazado	35
4.4.2	Modificación de las márgenes	37
4.4.3	Señalización	37
4.4.4	Sistemas de contención	37
4.4.5	Comparación de las mejoras	37
4.4.6	Conclusiones	38
4.5	Análisis multicriterio.....	39
4.5.1	Valoración económica	39
4.5.2	Aumento de la seguridad vial	39
4.5.3	Impacto ambiental	40
4.5.4	Plazo de ejecución	40
4.5.5	Ponderación	40
4.5.6	Conclusiones	41
5	RELACIÓN VALORADA	42
6	NORMATIVA	43
7	OTROS ASPECTOS.....	44
8	CONCLUSIONES DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO	47
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

ÍNDICE DOCUMENTAL

ANEXOS

- ANEXO 1: ANÁLISIS GEOMÉTRICO ACTUAL
- ANEXO 2: ESTUDIO DEL TRÁFICO
- ANEXO 3: SEÑALIZACIÓN
- ANEXO 4: FIRMES Y PAVIMENTOS
- ANEXO 5: GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
- ANEXO 6: ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL
- ANEXO 7: PROPUESTAS DE MEJORA
- ANEXO 8: RELACIÓN VALORADA
- ANEXO 9: SEGURIDAD VIAL
- ANEXO 10: ESTUDIO DE LA ACCIDENTALIDAD
- ANEXO 11: SISTEMAS DE CONTENCIÓN

PLANOS

- LOCALIZACIÓN
- SITUACIÓN ACTUAL
 - PLANTA
 - ALZADO
 - SECCIONES TRANSVERSALES
- PROPUESTAS DE MEJORA
 - PLANTA

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DEL TRAMO OBJETO DE ESTUDIO.	3
FIGURA 2. DESNIVELES EN EL RECORRIDO DEL TRAMO ESTUDIADO.	4
FIGURA 3. COMPARACIÓN DE LAS ESTACIONES DE AFORO QUE SE ENCUENTRAN EN EL TRAMO OBJETO DE ESTUDIO.	5
FIGURA 4. EVOLUCIÓN DEL PARQUE DE VEHÍCULOS EN ESPAÑA.	6
FIGURA 5. TRAZADO ENTRE LOS PP.KK. 16+000 Y 18+000 EN 1956 Y EN LA ACTUALIDAD.	8
FIGURA 6. SOBRECANTO FORMADO POSTERIORMENTE A LA CARRETERA, P.K. 22+800.	9
FIGURA 7. VISTA EN PLANTA DEL EJE TRAZADO DE LA VÍA ACTUAL, PP.KK. 19+100 A 19+800.	9
FIGURA 8. FACTORES CONCURRENTES DE LA ACCIDENTALIDAD.	11
FIGURA 9. DISTANCIA DE VISIBILIDAD-PARADA, SENTIDO CRECIENTE (1).	12
FIGURA 10. ÍNDICE EURORAP, MEDIANTE EL SLIDING WINDOW METHOD.	14
FIGURA 11. INTERVALO DE CONFIANZA DE LA SINISTRALIDAD.	15
FIGURA 12. TRAMOS CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO.	16
FIGURA 13. CRITERIO LAMM I.	17
FIGURA 14. CRITERIO LAMM II.	18
FIGURA 15. CONSISTENCIA SEGÚN LAMM I, TRAMO 1.	21
FIGURA 16. CONSISTENCIA SEGÚN LAMM I, TRAMO 2.	21
FIGURA 17. CONSISTENCIA SEGÚN LAMM II, TRAMO 1.	21
FIGURA 18. CONSISTENCIA SEGÚN LAMM II, TRAMO 2.	22
FIGURA 19. FORMACIÓN DEL PERFIL DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN MEDIANTE EL IHSDM.	22
FIGURA 20. MODELO DE PÉREZ ET AL. (2012) PARA CURVAS.	23
FIGURA 21. COMPARACIÓN DE LOS MODELOS CONVENCIONALES DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN PARA CURVAS... ..	24
FIGURA 22. PERFIL DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN MEDIANTE EL IHSDM, TRAMO 1.	24
FIGURA 23. PERFIL DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN MEDIANTE EL IHSDM, TRAMO 2.	25
FIGURA 24. UBICACIÓN DEL TRAMO OBJETO DE ESTUDIO DENTRO DEL PARQUE NATURAL DE LA SIERRA CALDERONA.	26
FIGURA 25. CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEGÚN SU EXCAVABILIDAD.	30
FIGURA 26. ZONAS EN LAS QUE SE PUEDE MEJORAR EL TRAZADO (A) Y ZONAS EN LAS QUE NO (B).	36
FIGURA 27. SECCIÓN TIPO DEL PAQUETE DE FIRMES SOBRE SUELO TOLERABLE Y SOBRE ROCA.	36
FIGURA 28. COMPARACIÓN DE LA LONGITUD DE ACTUACIÓN EN DESMONTE.	36
FIGURA 29. POSIBLES ENCUENTROS TURISMO-CICLISTA.	44
FIGURA 30. CUNETAS A PROTEGER, P.K. 23+000 Y PROTECCIÓN TIPO.	45
FIGURA 31. PROTECCIÓN PARA CICLISTAS.	46

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TASAS DE CRECIMIENTO ANUAL DE LA IMD.	6
TABLA 2. IMD DEL AÑO DE PUESTA EN SERVICIO Y DEL AÑO HORIZONTE.	6
TABLA 3. PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS DE LA ESTACIÓN 025010.	7
TABLA 4. NIVEL DE SERVICIO EN FUNCIÓN DEL PTSF.	7
TABLA 5. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DEL PORCENTAJE DE TRÁFICO.	7
TABLA 6. RESULTADOS DEL MÉTODO MONTECARLO.	7
TABLA 7. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE LA NORMATIVA 3.1-IC EN RECTAS.	10
TABLA 8. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE LA NORMATIVA 3.1-IC EN CURVAS (1).	10
TABLA 9. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE LA NORMATIVA 3.1-IC EN CURVAS (2).	10
TABLA 10. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE LA NORMATIVA 3.1-IC EN CLOTOIDES.	10
TABLA 11. TIPOLOGÍA DE LA SINISTRALIDAD.	13
TABLA 12. TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES.	14
TABLA 13. CÁLCULO DE DISTINTOS ÍNDICES DE ACCIDENTALIDAD.	14
TABLA 14. TRAMOS CON UN EURORAP ELEVADO.	15

TABLA 15. ACCIDENTES ESPERADOS EN 10 AÑOS, SEGÚN LA SPF DE CAMACHO TORREGROSA.	15
TABLA 16. CRITERIO DE CONSISTENCIA LAMM I Y II.	17
TABLA 17. CRITERIO DE CONSISTENCIA DE POLUS.	18
TABLA 18. CRITERIO DE CONSISTENCIA LAMM III.	18
TABLA 19. ÍNDICES SIMPLES DEL TRAZADO.	19
TABLA 20. CURVAS DE CONSISTENCIA ACEPTABLE Y POBRE, SEGÚN LAMM II.	19
TABLA 21. SEÑALIZACIÓN DISPUESTA ACTUALMENTE EN EL TRAMO OBJETO DE ESTUDIO.	27
TABLA 22. MATERIALES EN EL ENTORNO DEL TRAZADO DE LA CARRETERA.	28
TABLA 23. TALUDES ESCOGIDOS PARA LOS DISTINTOS MATERIALES.	29
TABLA 24. CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS DE LA TRAZA.	30
TABLA 25. LÍMITES DE ATTERBERG DE ALGUNOS SUELOS ESPAÑOLES.	31
TABLA 26. CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA EXPLANADA.	31
TABLA 27. USOS DE LOS MATERIALES EN LA EXPLANADA.	32
TABLA 28. TERRENO SUBYACENTE EN EL TRAMO OBJETO DE ESTUDIO.	32
TABLA 29. TRAMOS A MEJORAR POR CRITERIOS DE SINIESTRALIDAD.	34
TABLA 30. TRAMOS A MEJORAR.	35
TABLA 31. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS MEJORAS PROPUESTAS.	38
TABLA 32. MEJORAS TIPO PROPUESTAS EN LOS DISTINTOS ELEMENTOS A MODIFICAR.	39
TABLA 33. VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS MEJORAS PROPUESTAS.	40
TABLA 34. PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO.	40
TABLA 35. PROPUESTA FINAL PARA MEJORAR LA SEGURIDAD VIAL DEL TRAMO.	41

1 INTRODUCCIÓN AL TRABAJO DE FIN DE GRADO

El presente Trabajo de Fin de grado (TFG) para la obtención del título del Grado en Ingeniería Civil versará sobre la mejora de un tramo de la carretera CV-25. La carretera CV-25 presenta problemas de seguridad vial importantes en gran parte de su longitud. En concreto, en este estudio se tratará de proponer mejoras en el tramo que discurre entre las localidades de Olocau y Gátova, entre los PP.KK. 9+500 a 24+800. El tramo objeto de estudio es un sinuoso puerto de montaña con grandes pendientes (ver figura 2) en ciertas zonas localizadas y con radios de reducido tamaño, por lo que se tiene problemas de inconsistencia del trazado. Este hecho, junto al gran número de ciclistas que escogen circular por él, hace que la conducción a través de la montañosa vía sea peligrosa.

Este estudio se centrará en conceptos relacionados con la Ingeniería de Carreteras, expuestos en la asignatura de carácter obligatorio Caminos y Aeropuertos y la asignatura *Road Safety*, optativa. Además, para el desarrollo de cualquier estudio de esta índole, existe una serie de conceptos que también se deben tener en cuenta, como los relacionados con Geología y Geotecnia o la obtención de una relación valorada de las acciones a realizar, entre otros. Finalmente, por parte del alumno, ha sido necesaria una comprensión y aplicación de ciertas materias que escapan al alcance de las asignaturas impartidas durante el Grado en Ingeniería Civil, lo cual refuerza la idea de que existe un aprendizaje permanente necesario en la profesión.

Finalmente, quiero agradecer al Prof. José Manuel Campoy Ungría sus labores como tutor durante la redacción presente TFG, por haber aportado su amplia experiencia en el problema que se estudia y por sugerirme nuevas formas de trabajar en la composición de Proyectos y Estudios en general. Además, me gustaría dejar constancia de los consejos y recomendaciones recibidos de la mano del Prof. Francisco Javier Camacho Torregrosa y de la Prof.^a M.^a Elvira Garrido de la Torre, tanto en materias relativas a sus especialidades como a la redacción de Proyectos en general.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Objeto y alcance

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado, consistente en un Estudio para la mejora de la Seguridad Vial, es el proponer ciertas modificaciones en el tramo objeto de estudio para asegurar una conducción más cómoda y segura para todos los usuarios de la vía. Este objetivo principal, engloba otros sin los cuales no sería posible proyectar un solución coherente y eficaz, estos irán desde el estudio del tráfico en la carretera actual, la revisión de la Norma 3.1-IC de Trazado vigente y la búsqueda de los elementos inconsistentes del tramo estudiado, hasta el análisis medioambiental del Parque Natural de la Sierra Calderona, la propuesta de mejoras y un análisis multicriterio para estimar la solución final.

En este Estudio se plantean mejoras de carácter local ya que, el tramo de la carretera CV-25 estudiado está enmarcado en el ámbito del Parque Natural de la Sierra Calderona, que tiene una legislación de carácter autonómico que prohíbe modificaciones globales de la misma, para evitar una elevada afección al medio ambiente, como se expone en el Anexo 6: Análisis medioambiental. Además, se tiene que el tramo objeto de estudio es una carretera existente y funcional, por lo que realizar actuaciones de carácter global supone una conducción incómoda para los usuarios de la vía o, incluso, un peligro, mientras se realizan las obras. Finalmente, si se realizan mejoras en ciertos puntos en concreto, los cuales se detecten previamente por presentar cierto peligro, se reduce el coste total de la obra. Para localizar los puntos susceptibles de presentar problemas de Seguridad Vial se han empleado varios criterios de distinta índole: la siniestralidad registrada, los criterios de consistencia de Lamm y la distancia de visibilidad, aparte de otros que se han descartado por no aportar resultados concluyentes.

Tras localizar los puntos de la vía que se deben modificar, se presentan una serie de mejoras tipo: modificación del trazado, modificación de las márgenes, señalización y sistemas de contención. Estas medidas se plantean para cada punto en concreto, desechándose algunas de ellas directamente. Finalmente, en aquellos puntos en los que se puede realizar más de una mejora se selecciona la más adecuada mediante un análisis multicriterio.

2.2 Localización

El tramo objeto de estudio pertenece a la carretera CV-25, entre los PP.KK. 9+500 y 24+800. Este tramo discurre entre la localidad de Olocau y el Puerto de Chirivilla, una cima también conocida como Pico del Águila (ver Figura 1). Además, la vía estudiada también atraviesa los municipios de Marines Vell y Gátova. La totalidad del área estudiada está enmarcada en la Comunidad Valenciana, más concretamente en la provincia de Valencia. Finalmente, el tramo se ubica en el interior del Parque Natural de la Sierra Calderona, lo que condiciona de una manera importante la tipología de las actuaciones que se pueden realizar para mejorar la seguridad vial del tramo.

El tramo se ha seleccionado por los problemas de seguridad vial que presenta y por ser la “subida” al mencionado Pico del Águila, a partir del final del tramo empieza el descenso, por lo que sería conveniente dividirlo a partir del momento en el que cambia el sentido de las pendientes.



FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DEL TRAMO OBJETO DE ESTUDIO.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

2.3 Descripción de la problemática

Existe una serie de motivos por los cuales se plantean las actuaciones: la comodidad en la conducción, la siniestralidad registrada y la demanda social.

En primer lugar, la comodidad en la conducción es un factor relacionado con la consistencia de la vía y, consecuentemente, la homogeneidad de la misma. La existencia de ciertas inconsistencias en el tramo objeto de estudio resultan en una conducción incómoda para los usuarios de la vía y, si estas inconsistencias son muy pronunciadas, problemas de seguridad vial. A efecto de estudiar la consistencia de la vía, se plantean varios criterios de distintos autores para localizar aquellos elementos peligrosos. Puede adelantarse que en el tramo estudiado existen problemas de este tipo, por la existencia de radios pequeños seguidos de otros de mayor dimensión.

Seguidamente, la siniestralidad registrada es otro indicador de la necesidad de una mejora de las características del tramo objeto de estudio. En el caso estudiado en concreto, existen varios accidentes con resultados materiales o heridos leves, pero no con heridos graves o fallecidos. No obstante, muchos accidentes involucran a un solo vehículo que sale de la vía, lo cual refuerza la idea de que existen

inconsistencias en el trazado. Además, hay accidentes registrados con fallecidos y heridos graves en zonas muy cercanas al propio tramo de estudio, por lo que, según este indicador, se debería actuar para mejorar la seguridad vial.

Finalmente, la demanda social es un factor que se debe tener en cuenta ya que los usuarios habituales de la vía pueden detectar que hay ciertas zonas que deben modificarse para asegurar una conducción cómoda y segura. A causa de los problemas de seguridad vial, de mantenimiento y de la demanda social, se aprobó en 2015 en Les Corts Valencianes una Proposición no de ley para solventar estos inconvenientes, basada en que “la vía CV-25 recibió licitación para realizar obras de ampliación y mejora ya en el año 2005. A pesar de que ya se han realizado diversas actuaciones sobre este trazado, tales como la creación de un carril bici o la mejora de las vallas protectoras, y haberse invertido más de siete millones de euros, el tramo entre las localidades de Olocau y Gátova hasta alcanzar el término municipal de Altura permanece todavía hoy en las mismas condiciones que en 1995. Se trata de un tramo de carretera de montaña muy revirado, asfalto en malas condiciones, anchura de carril inadecuada para el cruce de vehículos y ausencia de arcén. La vía dispone asimismo de ancho y asfalto adecuados. Se trata de una zona turística, por lo que el tramo es frecuentemente utilizado por ciclistas. Esta circunstancia, unida al ancho inadecuado de la vía y a la escasa visibilidad que ofrecen las curvas, hace que su tránsito sea todavía más peligroso, tanto para conductores como para ciclistas y peatones, afectando tanto al motor económico de la zona, el turismo, como a la misma fijación de la población, que, ante las malas condiciones de acceso, ha ido mermando paulatinamente en los últimos años” (Corts Valencianes, 2015).

Como puede observarse, la comodidad de la vía, que es función directa de la consistencia de la misma, es un factor del cual dependen los restantes, la siniestralidad registrada y la demanda social. Por eso, es importante no sólo proyectar carreteras que cumplan la normativa, sino también hacer especial hincapié en que se cumplan ciertos criterios de consistencia que aseguren la ausencia de inconsistencias en el trazado. Independientemente de eso, en ciertas ocasiones no es posible proyectar un corredor sin inconsistencias, por lo que debe tratarse de que estas no sean muy pronunciadas y de que exista la señalización adecuada para advertir al conductor de su presencia. En vías ya existentes se tienen ciertas condiciones de contorno que hacen que la modificación del trazado sea, a veces, inabordable, incluso de manera localizada. En ese caso, la implantación de señalización o la instalación de sistemas de contención pueden ser soluciones coherentes.

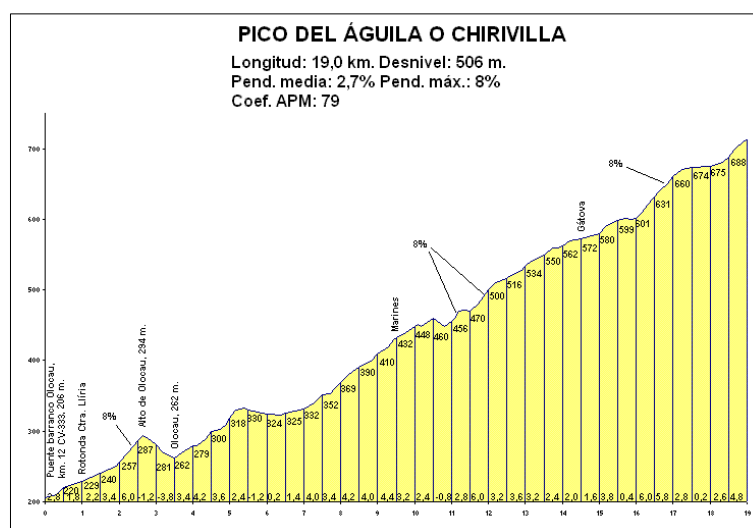


FIGURA 2. DESNIVELES EN EL RECORRIDO DEL TRAMO ESTUDIADO.

FUENTE: SITIO WEB ALTIMETRIAS.NET.

3 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1 Estudio del tráfico

El estudio del tráfico es de gran importancia debido a que tiene valor por sí mismo, pero también se emplea como un dato base en otro tipo de trabajos, como en el diseño de firmes y en la determinación de los sistemas de contención para la vía. Este estudio se desarrolla en dos partes: la determinación de la Intensidad Media Diaria (IMD) y el Nivel de Servicio.

La primera parte, el cálculo de la IMD, trata de esclarecer el volumen de vehículos que atraviesan actualmente el tramo para calcular los vehículos que lo recorrerán en el año horizonte tras realizar las actuaciones. La segunda parte, la determinación del Nivel de Servicio, sirve para comprobar si las prestaciones que ofrece la vía son suficientes actualmente. Si no fuera así, para asegurar una conducción cómoda del tramo objeto de estudio, sería necesario realizar mejoras en la sección transversal, ampliando el ancho actual de los carriles.

3.1.1 IMD del tramo objeto de estudio

Para realizar el estudio de parte de información preexistente proporcionada por la Conselleria d'Habitatge, Obres Públiques i Vertebració del Territori (Generalitat Valenciana) sobre aforos anuales en distintas estaciones ubicadas dentro de la propia CV-25. De entre ellas, se selecciona la estación 025040 por tener la mayor IMD de entre las estaciones que pertenecen al tramo objeto de estudio (ver Figura 3), ya que, a este nivel de proyecto, se supone que no existen accesos a las viviendas aledañas a la vía y que todos los vehículos pasan de largo de las localidades, ninguno se detiene.

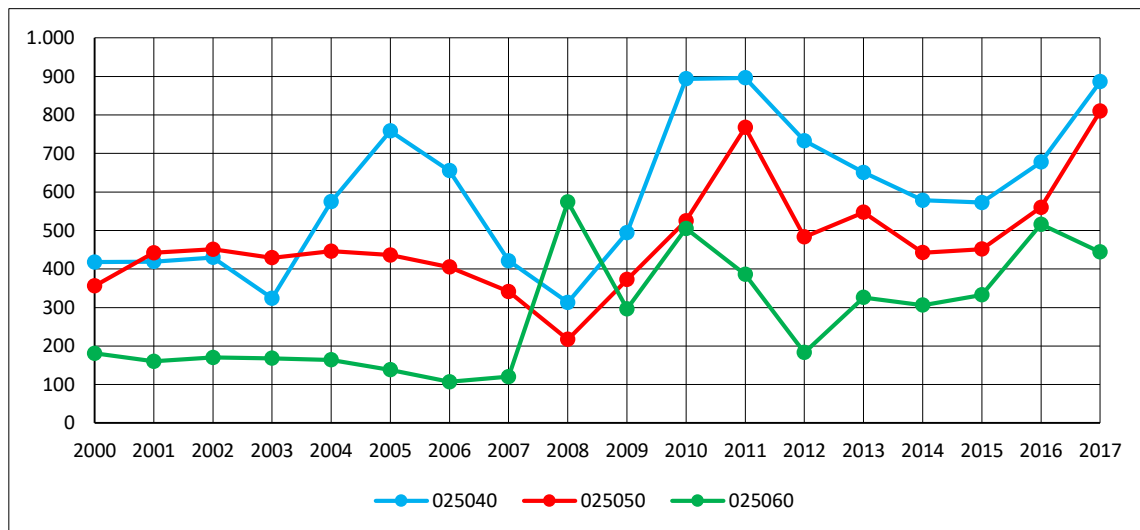


FIGURA 3. COMPARACIÓN DE LAS ESTACIONES DE AFORO QUE SE ENCUENTRAN EN EL TRAMO OBJETO DE ESTUDIO.
FUENTE: (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE VIVIENDA, 2017).

3.1.2 IMD del año de puesta en servicio y horizonte

Existe un gran número de formas de extrapolar la IMD del año de puesta en servicio (2019) y del año horizonte (2039). A este efecto puede emplearse un ajuste lineal, potencial, logarítmico, exponencial o polinómico de grado 2, entre otros. Mediante estos ajustes, además, se obtienen resultados muy dispares. Este hecho sumado a un estancamiento del parque de vehículos en España desde el año

2007 (ver Figura 4), a causa de la crisis económica, hace que, en ocasiones, incluso, se obtengan tasas de crecimiento negativo de la IMD, lo cual resulta incoherente y conlleva un mal diseño de la vía si se toma por correcto ese hecho. A este efecto, en la Orden FOM 3317/2010, de 17 de diciembre, se recogen unas tasas de crecimiento anual acumulativo (ver Tabla 1). Por lo tanto, se emplearán estas tasas para calcular la IMD en los próximos años. Aun así, a título académico se incluyen los distintos ajustes en el Anexo 2: Estudio del Tráfico. Se obtiene, finalmente, una IMD de 912 v/d en 2019 (año de puesta en servicio) y de 1213 v/d en 2039 (año horizonte) (ver Tabla 2).

Periodo	Incremento anual acumulativo (%)
2010-2012	1,08
2013-2016	1,12
2017 en adelante	1,44

TABLA 1. TASAS DE CRECIMIENTO ANUAL DE LA IMD.

FUENTE: ORDEN FOM/3317/2010, DE 17 DE DICIEMBRE (MINISTERIO DE FOMENTO. GOBIERNO DE ESPAÑA, 2010).

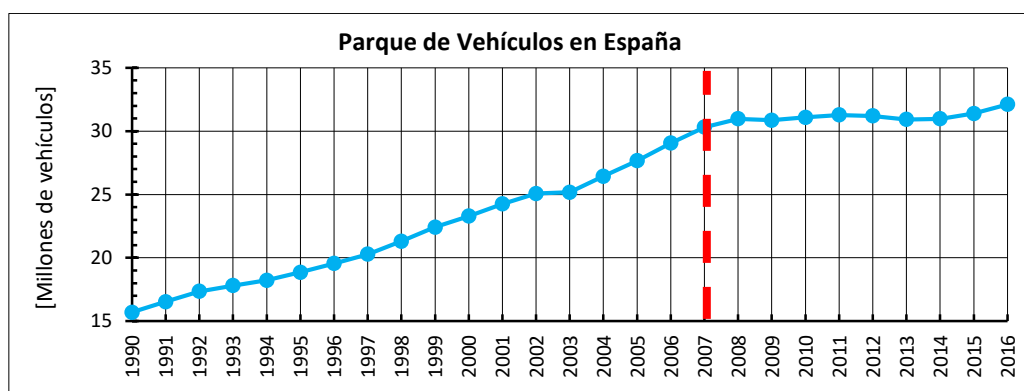


FIGURA 4. EVOLUCIÓN DEL PARQUE DE VEHÍCULOS EN ESPAÑA.

FUENTE: SERIES HISTÓRICAS PARQUE DE VEHÍCULOS (DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO, 2016).

AÑO	IMD	AÑO	IMD
2016	678	2028	1037
2017	886	2029	1052
2018	899	2030	1067
2019	912	2031	1082
2020	925	2032	1098
2021	938	2033	1114
2022	952	2034	1130
2023	965	2035	1146
2024	979	2036	1163
2025	993	2037	1179
2026	1008	2038	1196
2027	1022	2039	1213

TABLA 2. IMD DEL AÑO DE PUESTA EN SERVICIO Y DEL AÑO HORIZONTE.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.1.3 Porcentaje de vehículos pesados

El porcentaje de vehículos pesados se ha tomado directamente de la estación 025010, ya que la estación portátil de la que se ha extraído la IMD no tiene este dato. Aparte, es necesario remarcar que, aunque el porcentaje de pesados sea aparentemente bajo (varía entre el 2% y 3%), el tramo objeto de estudio es un sinuoso puerto de montaña por el cual la mayoría de tráfico pesado evitaría circular si no fuera irremediable por razones de logística o del propio trazado de la carretera. Finalmente, se toma el valor del porcentaje de pesados de 2017 para ese y los posteriores años, es decir, 2,0% (ver Tabla 3).

AÑO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2019	2039
IMD	421	313	494	894	896	733	651	578	573	678	886	912	1213
%P	3,0	3,0	3,0	2,0	1,8	1,9	1,9	2,3	2,1	2,3	2,0	2,0	2,0
IMD_p	13	9	15	18	16	14	12	13	12	16	18	19	25

TABLA 3. PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS DE LA ESTACIÓN 025010.
 FUENTE: TABLAS DE IMD (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE VIVIENDA, 2017).

3.1.4 Distribución horaria

Por razones de semejanza en el crecimiento anual de la IMD, se escoge a la estación 025010 como estación afín (En el Anexo 2 se muestra la disquisición realizada para llegar a esta conclusión y la distribución horaria del año horizonte para el día medio, laborable, sábado y domingo. Estos resultados se emplearán para determinar la distribución por sentidos para el cálculo del Nivel de servicio.

3.1.5 Nivel de Servicio

El tramo objeto de estudio puede catalogarse como Clase II, ya que es un tramo en el cual los conductores no esperan viajar necesariamente a velocidades elevadas. Son fundamentalmente viajes cortos o inicios y finales de viajes largos. Por eso, el nivel de Servicio se calcula mediante el porcentaje de tiempo en cola (PTSF) (ver Tabla 4).

LOS	PTSF
A	≤ 40
B	> 40-55
C	> 55-70
D	> 70-85
E	> 85

TABLA 4. NIVEL DE SERVICIO EN FUNCIÓN DEL PTSF.
 FUENTE: HIGHWAY CAPACITY MANUAL (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2000).

En el cálculo del PTSF se realiza para cada sentido de circulación, pudiendo variar la distribución en cada sentido a lo largo del día, para solventar este hecho, se ha realizado un análisis mediante el Método Montecarlo (ver Tabla 5), con un total de 10.000 iteraciones, los resultados han sido de un nivel de servicio A en la mayoría de los casos (ver Tabla 6), por lo que se puede asegurar que no es necesario variar el ancho de la plataforma o dotar a la vía con más carriles. El método de cálculo del PTSF se expone en el Anexo 2, así como el Método Montecarlo.

	Media	Desviación típica
Creciente	53,00	11,90
Decreciente	47,00	11,90

TABLA 5. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DEL PORCENTAJE DE TRÁFICO.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

LOS	Creciente		Decreciente	
A	9.998	99,98%	9.891	98,91%
B	2	0,02%	109	1,09%
C	0	0,00%	0	0,00%
D	0	0,00%	0	0,00%
E	0	0,00%	0	0,00%
TOTAL	10.000	100,00%	10.000	100,00%

TABLA 6. RESULTADOS DEL MÉTODO MONTECARLO.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.2 Estudio del trazado actual

En este estudio se tratará de encontrar aquellas zonas que son susceptibles de crear problemas para la seguridad vial del tramo objeto de estudio desde el punto de vista del trazado que se tiene actualmente y de la normativa vigente de trazado. Esta revisión de la normativa se lleva a cabo para localizar aquellas zonas en las que ésta se incumple, ya que la normativa vigente de trazado 3.1-IC, aparte de ser de obligado cumplimiento por su propia naturaleza, está fundamentada en proporcionar una conducción cómoda y segura para los usuarios de la vía. Además, se comparará el tramo de la carretera CV-25 que se está estudiando con la forma que presentaba el mismo tramo en el año 1956, mediante imágenes aéreas. Este último estudio se realiza para demostrar que la vía a mejorar apenas ha sufrido cambios en su morfología a lo largo de los años, lo que, junto con los datos de la siniestralidad registrada, expone que es necesario llevar a cabo mejoras en el firme más drásticas que las que se han proyectado hasta la fecha.

3.2.1 Comparativa histórica

El trazado geométrico del tramo objeto de estudio apenas ha sufrido cambios sustanciales desde 1956 (año en el que se tienen las primeras fotografías aéreas, ver Figura 5). En lugar de modificar el trazado del tramo objeto de estudio, se ha optado por realizar actuaciones que no conlleven la modificación de ese trazado. Consecuentemente, los cambios que se observan en la vía son:

- Aumento del ancho de la vía para formar dos carriles de circulación, uno en cada sentido (ver Figura 6).
- Ampliación de las márgenes externas de algunas curvas, sobre todo curvas cerradas, para formar un sobrecancho en esos puntos.
- Repavimentación del camino primitivo, aunque no se tiene constancia de cuándo se llevó a cabo.



FIGURA 5. TRAZADO ENTRE LOS PP.KK. 16+000 Y 18+000 EN 1956 Y EN LA ACTUALIDAD.

FUENTE: ADAPTADO DESDE INSTITUTO CARTOGRAFICO DE VALENCIA (2018).



FIGURA 6. SOBREANCHO FORMADO POSTERIORMENTE A LA CARRETERA, P.K. 22+800.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.2.2 Obtención de la geometría actual

Para realizar este estudio, uno de los datos base fundamentales es la geometría actual del tramo objeto de estudio. La obtención de esta geometría se realiza con un programa de diseño de obras lineales, en este caso se ha empleado Clip de Tool S.A., la ortofoto de la zona y, por último, un archivo .dxf que contiene las líneas de nivel del tramo y sus alrededores.

El proceso consiste en diseñar el eje de un trazado que se asemeje lo máximo posible al que se tiene actualmente, con ayuda de la ortofoto. Esto se realiza mediante rectas, curvas de acuerdo y curvas circulares (ver Figura 7). Los resultados que se pueden obtener, si la ortofoto tiene una resolución suficiente, son muy aproximados a la realidad. Seguidamente, se traza la geometría en alzado del firme, mediante rectas (pendientes) y curvas de acuerdo (parábolas de eje vertical). En esta ocasión, las pendientes longitudinales son más o menos aproximadas a la realidad, pero la posición y longitud de las curvas de acuerdo no se pueden definir con precisión. Para acabar este apartado, es importante remarcar que en todo el estudio se ha dividido al tramo objeto de estudio en 2 tramos, para facilitar la restitución de la geometría actual, ya que el tramo contiene varias localidades, una de ellas es Gátova, cuya travesía se ha evitado diseñar. El primer tramo va de Olocau a Gátova y el segundo de Gátova al Puerto de Chirivilla, todo el tramo asciende en altura en dirección ascendente, a partir del final del tramo empieza el descenso.



FIGURA 7. VISTA EN PLANTA DEL EJE TRAZADO DE LA VÍA ACTUAL, PP.KK. 19+100 A 19+800.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.2.3 Normativa de trazado

La Norma de Trazado 3.1-IC se ha revisado para el tramo objeto de estudio mediante hojas de cálculo *Excel*. La explicación de la formulación de los artículos empleados, así como el resultado en concreto de su cumplimiento para cada elemento de la vía se recoge en el Anexo 1: Análisis geométrico actual, y sus apéndices. El resumen de los resultados obtenidos, para el trazado en planta (el análisis del trazado en alzado se descarta por la dificultad de la obtención de esa geometría), se recoge en las siguientes Tablas (Tablas 7 a 10). Estos resultados ponen de manifiesto que la mayoría de elementos del tramo objeto de estudio no cumplen la Norma 3.1-IC de Trazado, por lo que no se puede tener este como un criterio para encontrar elementos a mejorar.

RECTAS

TRAMO	Rectas	Curvas S	Curvas C	No cumple	
1	84	43	41	74	88,1%
2	46	31	15	43	93,5%
TODO	130	74	56	117	90,0%

TABLA 7. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE LA NORMATIVA 3.1-IC EN RECTAS.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

CURVAS

TRAMO	Curvas	No cumple Rproy		No cumple consecución	
1	84	52	61,9%	72	85,7%
2	128	53	41,4%	98	76,6%
TODO	212	105	49,5%	170	80,2%

TABLA 8. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE LA NORMATIVA 3.1-IC EN CURVAS (1).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

TRAMO	Curvas	Falta clotoide			Clotoides Asimétricas	No cumple	
		De entrada	De salida	De entrada y de salida			
1	128	6	13	9	63	91	71,1%
2	84	12	16	16	31	75	89,3%
TODO	212	18	29	25	94	166	78,3%

TABLA 9. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE LA NORMATIVA 3.1-IC EN CURVAS (2).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

CLOTOIDES

TRAMO	Clotoides	Insuficiente A	Excesivo A	No cumple	
1	203	177	4	181	89,2%
2	94	89	0	89	94,7%
TODO	297	266	4	270	90,9%

TABLA 10. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE LA NORMATIVA 3.1-IC EN CLOTOIDES.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.3 Seguridad Vial

La seguridad vial es el estudio de la siniestralidad para su posterior prevención o la minimización de sus efectos. Se trata de un problema de gran importancia en la sociedad y es la causa de cerca de 1,3 millones de muertes y entre 20 y 50 millones de traumatismos no mortales cada año. Es, por tanto, una de las principales causas de muerte en todos los grupos etarios, y la primera entre personas de entre 15 y 29 años (Organización Mundial de la Salud, 2015).

Este apartado tiene el propósito de localizar los puntos en los que es preciso realizar alguna acción para mejorar los problemas de seguridad vial del tramo objeto de estudio. Con este fin, se presenta el concepto de consistencia del trazado y la importancia que este tiene dentro de los distintos factores involucrados en la siniestralidad. Seguidamente, se desarrollarán algunos de los criterios más empleados para medir esta consistencia y se decidirá cuáles de ellos son propicios a dar resultados concluyentes en el caso que se está estudiando. Para acabar, se presentarán las zonas en las que se requiere de actuación según los criterios escogidos. Además, se estudiará si las zonas a mejorar tienen o no una correcta visibilidad.

3.3.1 Factores concurrentes

Existe una serie de factores que son los causantes de los accidentes de tráfico, no sólo se deben a los conductores de los vehículos (ver Figura 8). Los accidentes se producen, normalmente, por un compendio de estos factores, de entre los que destacan: el factor humano, la infraestructura y el vehículo. Por tanto, hay accidentes que tienen origen en un mal diseño geométrico de la vía que pueden deberse a inconsistencias del trazado. Sobre el factor infraestructura y humano puede actuarse mediante la modificación del trazado o la instalación de señalización.

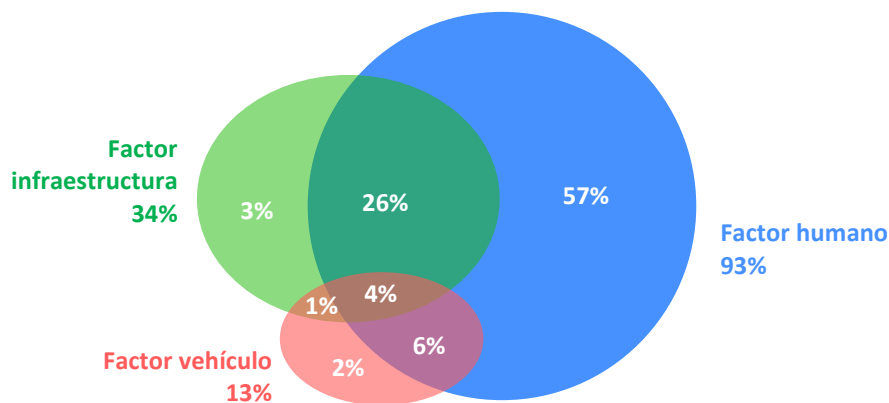


FIGURA 8. FACTORES CONCURRENTES DE LA ACCIDENTALIDAD.
FUENTE: APUNTES DE LA ASIGNATURA ROAD SAFETY (UPV), 2018.

3.3.2 Estudio de la visibilidad

El estudio de la visibilidad consiste en la comparación de la distancia de visibilidad que se tiene en un punto, por la propia orografía y geometría de la vía, y la distancia (de parada) necesaria para detener el vehículo en ese mismo punto. De esta manera, el estudio resulta favorable si se tiene una distancia de visibilidad superior a la de parada. La distancia de parada depende de la velocidad y la pendiente longitudinal en el punto estudiado. Según la normativa vigente de trazado 3.1-IC, la velocidad

que se introduce en la expresión de la distancia de parada (D_p) es la velocidad de proyecto (V_p), en este caso 40 km/h, por lo que la distancia de parada sólo depende de la inclinación de la rasante.

$$D_p = \frac{V \cdot t_p}{3,6} + \frac{V^2}{254 \cdot (f_i + i)}$$

Siendo:

- D_p = Distancia de parada (m).
- V = Velocidad al inicio de la maniobra de frenado (km/h).
- f_i = Coeficiente de rozamiento longitudinal movilizado rueda-pavimento.
- i = Inclinación de la rasante (en tanto por uno).
- t_p = Tiempo de percepción y reacción (s).

En este estudio, en lugar de calcular esta distancia con la velocidad de proyecto, se ha empleado la velocidad de operación (V_{85}), es decir, la velocidad a la que realmente circulan los vehículos en cada punto de la vía en concreto. Por lo tanto, si se realiza lo expuesto en la normativa, podrían obtenerse resultados positivos en puntos en los que la velocidad de operación fuera mayor que la de proyecto, por lo que se estaría del lado de la inseguridad. Se presentan los resultados empleando ambas velocidades con el fin de exponer la gran variabilidad de la distancia de parada calculada con la velocidad operación sobre la casi inexistente variabilidad de la calculada con la velocidad de proyecto. Se obtiene que en alrededor del 10% del tramo objeto de estudio hay problemas de visibilidad, por lo que este análisis no determina elementos con problemas de seguridad vial, sino tramos completos. Por eso, este criterio será complementario para escoger los elementos a mejorar.

Finalmente, es necesario hacer hincapié en la exactitud de este tipo de análisis. El estudio de la visibilidad depende del modelo de velocidad de operación escogido (el del IHSDM, en este caso), de lo precisa que sea la nube de puntos que da la orografía del terreno y de los que se asemeje a la realidad la rasante que se ha diseñado, en el programa Clip de Tool S.A., en este caso. Por eso, dependiendo del intervalo entre secciones escogido para llevar a cabo el estudio, los resultados varían. En este caso, los cálculos se han realizado cada metro y cada 20 metros, obteniendo en el primer caso, incluso, zonas puntuales (de longitud 1 m) en las que hay problemas de visibilidad. Esto puede atribuirse a algún obstáculo que hay en la nube de puntos, como vegetación de cierta altura, o a una incorrecta interpolación llevada a cabo por el programa de trazado. Por todo lo explicado, es importante, además de realizar el estudio, comprobar físicamente que la visibilidad es, o no, correcta. Los resultados se adjuntan en el Anexo 9: Seguridad Vial. Para demostrar lo explicado, se incluye la distancia de visibilidad-parada, de forma gráfica, del tramo 1, en sentido creciente (ver Figura 9).

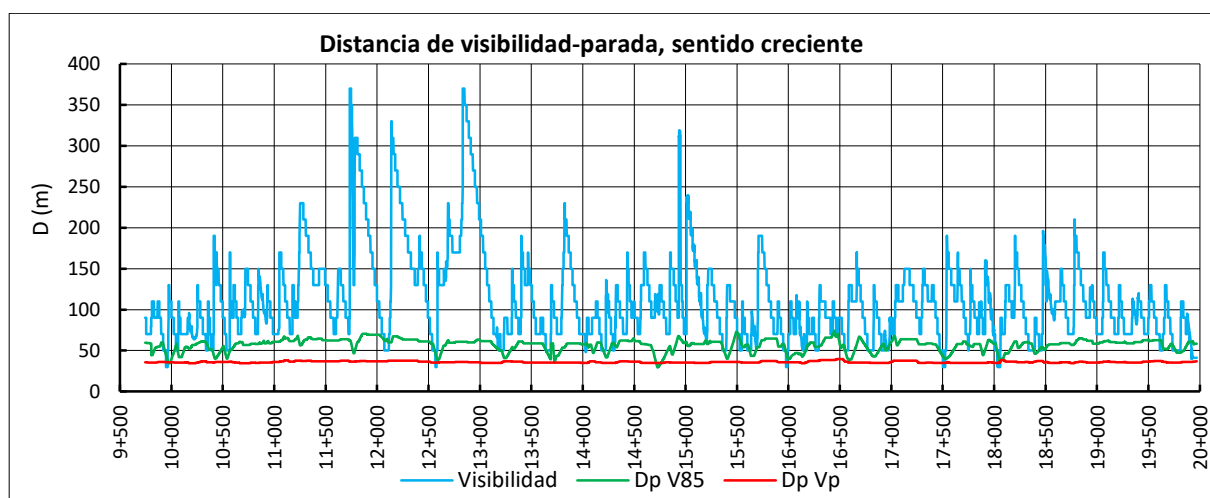


FIGURA 9. DISTANCIA DE VISIBILIDAD-PARADA, SENTIDO CRECIENTE (1).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.4 Estudio de la accidentalidad

El estudio de la accidentalidad de una carretera existente es un punto clave y de gran interés en el estudio de la Seguridad Vial. Los resultados que desprende este análisis pueden emplearse en la toma de decisiones en cuanto a la necesidad de mejoras en la carretera, la tipología, en su caso, de las mismas e incluso, planes y métodos para comprobar si las medidas implantadas han resultado de la eficacia esperada.

El análisis de la accidentalidad puede ser cuantitativo o cualitativo. El primero, se refiere al cálculo de índices o tasas de accidentalidad y su comparación con valores límite recomendados por distintas agencias o con los de otros tramos de carretera. El segundo, trata de estudiar la tipología de los accidentes y, por tanto, sus posibles causas. Con un análisis completo de la accidentalidad, por tanto, se puede determinar la gravedad de la situación actual en los distintos puntos de la vía y las posibles causas de esta situación. Para el estudio de la accidentalidad registrada en la CV-25 se tienen los datos proporcionados por la Generalitat Valenciana, desde el año 2011 hasta el año 2016, ambos inclusive.

3.4.1 Análisis cualitativo

El análisis cualitativo de la accidentalidad registrada del tramo consta, principalmente, de la descripción del tipo de accidente que ha tenido lugar y de las condiciones en el momento del altercado. Este análisis es de vital importancia para poder proponer mejoras eficaces, pero también razonables, y no solo medidas estándar. Se analizará las condiciones lumínicas, las condiciones meteorológicas, la superficie del firme y la tipología o consecuencias del accidente.

En primer lugar, se tiene un total de 18 accidentes en el tramo objeto de estudio. De esos accidentes, 16 son a plena luz del día, 1 en el crepúsculo y el restante sin iluminación, por lo que el tramo no parece necesitar una iluminación adicional. Aun así, instalar iluminación adicional en este sinuoso puerto de montaña podría resultar una propuesta algo desmedida. Seguidamente, todos los accidentes se reportaron con unas condiciones climatológicas de “Buen tiempo”. Además, todos los accidentes se dieron en una superficie catalogada como “Correcto”.

En cuanto a la tipología de los accidentes, 9 de ellos son salidas de la vía, 4 colisiones laterales, 1 colisión frontolateral, 1 vuelco en calzada y los 4 restantes son de otra tipología (ver Tabla 11). Este aspecto del análisis pone de manifiesto que en la mayoría de los accidentes en el tramo objeto de estudio sólo está involucrado un vehículo, lo cual puede estar causado por inconsistencias en el trazado. Existen mejoras drásticas para solventar este problema, como un cambio en el trazado del tramo, y otras más sencillas, como la implantación de señalización y sistemas de contención.

CONSECUENCIA	N.º	%
Salida sin colisión	9	50,0%
Otro	3	16,7%
Colisión lateral	4	22,2%
Vuelco en calzada	1	5,6%
Colisión frontolateral	1	5,6%

TABLA 11. TIPOLOGÍA DE LA SINIESTRALIDAD.

FUENTE: ADAPTADO A PARTIR DE LAS MEMORIAS DE AFORO DE LA GENERALITAT VALENCIANA.

Finalmente, en el tramo hay tres zonas en las que se tiene que tener especial cuidado porque en ellas se aglutinan algunos accidentes (ver Tabla 12). La primera está en el P.K. 12,1 a 12,2 y en ella se han registrado 2 colisiones. La segunda zona va del P.K. 13,2 a 13,5, donde se han dado 3 accidentes (2

salidas de vía y 1 vuelco en calzada). Por último, la tercera zona se encuentra en el P.K. 21,1 a 21,2 y en ella se dieron 2 accidentes (1 salida de vía y otro tipo de accidente).

TRAMO	P.K. INICIO	P.K. FIN	N.º ACCIDENTES
1	12+100	12+200	2 2 colisiones
2	13+200	13+500	3 2 salidas + 1 vuelco
3	21+100	21+200	2 1 salida + otro tipo

TABLA 12. TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.4.2 Análisis cuantitativo

El análisis cuantitativo de la accidentalidad no tiene en cuenta la tipología de los accidentes, sino la cantidad de afectados tras ellos. Este tipo de análisis es importante para estudiar el estado actual del tramo objeto de estudio y también, para conformar una base para estudiar la accidentalidad tras haber llevado a cabo las actuaciones pertinentes. Existe una gran variedad de formas de realizar estos análisis, en este estudio se calcularán índices de accidentalidad (ver Tabla 13), se empleará el Sliding Window Method, un análisis antes/después y, finalmente, se empleará una Safety Performance Function (SPF).

ÍNDICE	
Crash rate	0,49 10 ⁶ vh·km
Fatality rate	0,00 10 ⁶ vh·km
EuroRAP	0,00 10 ⁹ vh·km

TABLA 13. CÁLCULO DE DISTINTOS ÍNDICES DE ACCIDENTALIDAD.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

Por la propia forma en la que los índices de accidentalidad se calculan, pueden obtenerse resultados muy dispares dependiendo de los años en los que se hace el estudio o el tramo escogido. De esta manera, si se llevara a cabo un estudio en el que un extenso tramo de carretera tuviera un índice de accidentalidad bajo, este resultado podría variar en sobremanera si, por ejemplo, se añadiera un pequeño tramo en el que se concentran accidentes con heridos graves o fallecidos. Para corregir este efecto, puede aplicarse el *Sliding Window Method*, que consiste en tomar un tramo ficticio de longitud L (en este caso, 1 km) y desplazarlo una distancia d hasta que se alcance el final de la vía. Cada vez que se desplaza este tramo ficticio, se calcula el índice de accidentalidad deseado (en este caso el EuroRAP). La formulación del método se expone en el Anexo 10: Estudio de la accidentalidad.

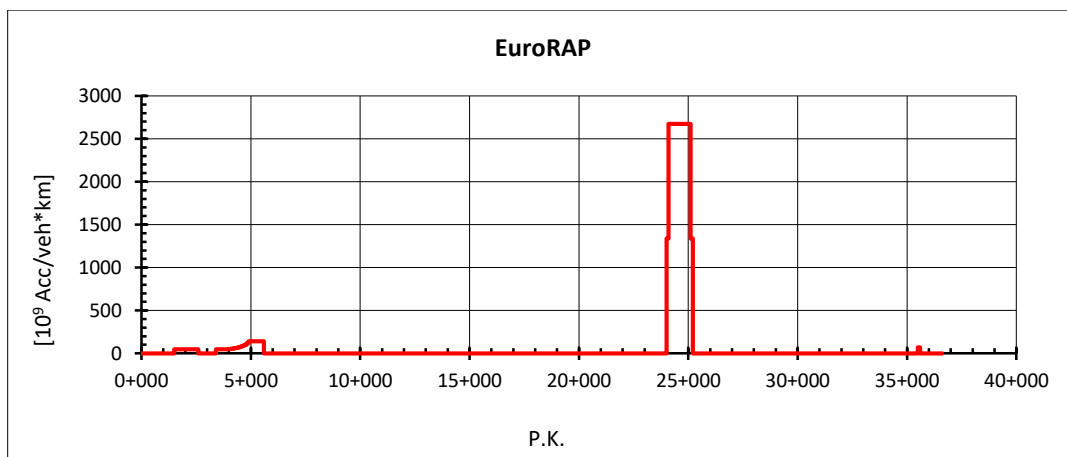


FIGURA 10. ÍNDICE EURORAP, MEDIANTE EL SLIDING WINDOW METHOD.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

P.K. I	P.K. F	EuroRAP
24,0	25,2	2673,6

TABLA 14. TRAMOS CON UN EURORAP ELEVADO.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.4.3 Estudios antes/después

Uno de los puntos cruciales tras aplicar una medida es comprobar si ha sido efectiva o no. Uno de los métodos más obvios para estudiar esta efectividad es comparar la media de accidentes de un periodo de n años antes y después de las actuaciones. Sin embargo, si se atiende a la variabilidad de los accidentes este método no resulta correcto, el resultado podría cambiar dependiendo del periodo de años escogido.

Para integrar esta incertidumbre en el estudio, se incluye el concepto de intervalo de confianza. Puede demostrarse que los promedios de sucesos de Poisson (accidentes) se comportan como una distribución Gamma. Por ello, para realizar este estudio antes/después se utilizará un intervalo del 95% y, se compararán los intervalos de confianza (ver Figura 11). Si existen un cierto rango común que compartan los rangos de confianza de antes y después de las actuaciones, no se podrá asegurar estadísticamente que se haya actuado positivamente sobre la siniestralidad.

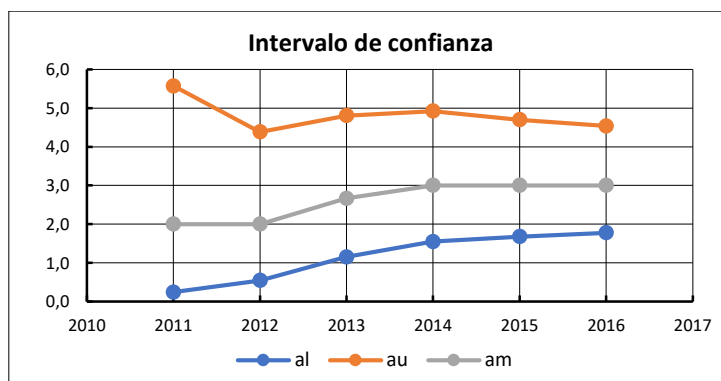


FIGURA 11. INTERVALO DE CONFIANZA DE LA SINIESTRALIDAD.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.4.4 Safety Performance Function (SPF)

Una Safety Performance Function (SPF) es una función obtenida mediante regresión y que se emplea para estimar los accidentes en un tramo de carretera en función de su exposición y otros parámetros. Estos modelos estiman accidentes, no índices de accidentalidad. En 2015, Camacho Torregrosa presentó en su tesis doctoral una SPF obtenida con datos de accidentalidad de la Comunidad Valenciana, por lo que su uso, en este caso, es muy apropiado. Permite calcular los accidentes para los próximos 10 años, en función de la IMD media de los últimos 10 años, longitud del tramo, el radio medio y el radio mínimo (ver Tabla 15).

Tramo 1: Olocau – Gátova	
$Y_{i,10}$	6,82 acc/10 años
Tramo 2: Gátova – Pto. de Chirivilla	
$Y_{i,10}$	3,01 acc/10 años

TABLA 15. ACCIDENTES ESPERADOS EN 10 AÑOS, SEGÚN LA SPF DE CAMACHO TORREGROSA.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.5 Consistencia del trazado

El concepto de consistencia del trazado hace referencia a la adecuación entre las expectativas del conductor y las características del propio firme. Las expectativas pueden dividirse en dos grupos (Pérez Zuriaga, Camacho Torregrosa, & García García, 2011):

- **Expectativas a priori.** La forma en la que el conductor actúa es fruto de la experiencia acumulada en las horas de conducción acumuladas en otras carreteras. Para cumplir con estas expectativas, se debe cumplir una relación entre el tipo de vía y la geometría de la misma.
- **Expectativas ad hoc.** Conforme el conductor recorre la vía, adquiere experiencia sobre la misma y puede llegar a vaticinar las características del trazado del restante tramo de vía que aún no ha transitado. Para que se cumplan estas expectativas, es necesario que la vía presente unas características homólogas en toda su longitud, o que éstas varíen paulatinamente. Así, por ejemplo, un tramo en el que haya grandes rectas y curvas de gran radio seguido, repentinamente, de otro de gran sinuosidad, presentará una gran inconsistencia para el conductor.

Existen diversos métodos para medir la consistencia del trazado. Principalmente, se basan en cuatro criterios: la velocidad de operación, los índices de trazado, la estabilidad del vehículo y la carga de trabajo del conductor (Ng & Sayed, 2004). En este estudio se analizarán los tres primeros criterios. La carga de trabajo del conductor se descarta debido a que *“el uso de la carga de trabajo como medida de la consistencia es mucho más limitado que otros métodos como los basados en la velocidad de operación. La principal debilidad del concepto de carga de trabajo es la dificultad de medir un parámetro tan subjetivo y por tanto de validar los modelos asociados”* (Pérez Zuriaga, Camacho Torregrosa, & García García, 2011).

3.5.1 Consideraciones previas

Para realizar un correcto análisis de la consistencia de un tramo geométrico es necesario realizar una correcta tramificación de la vía. En caso contrario, podrían compararse elementos de características muy distintas y, por tanto, el estudio no sería concluyente. Si la vía es existente, como en este caso, la tramificación puede realizarse según el ángulo de giro acumulado o según la velocidad máxima permitida. En este estudio, y con motivo de facilitar la obtención de la geometría actual de la carretera, se ha dividido al tramo objeto de estudio en dos tramos (ver Figura 12): Olocau – Gátova (azul) y Gátova – Puerto de Chirivilla (verde). No es necesario tramificar más, ya que la velocidad máxima permitida no varía en ningún punto de la vía, siempre se mantiene en 40 km/h, ésta es la velocidad de diseño o proyecto.

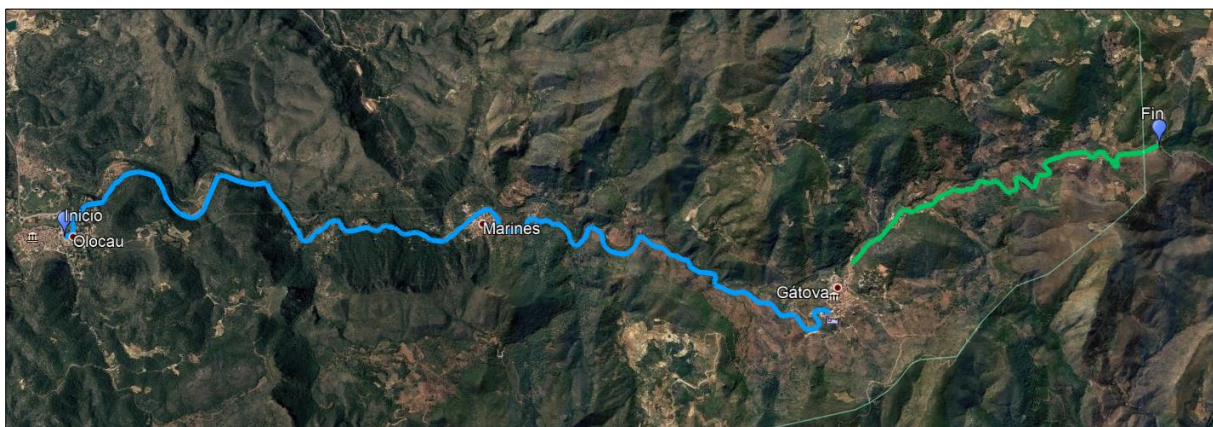


FIGURA 12. TRAMOS CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.5.2 Velocidad de operación

La AASHTO define la velocidad de operación como “la velocidad a la que circulan los vehículos en condiciones de flujo libre (*free-flow*)” (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001). La velocidad de operación se suele relacionar con el percentil 85 de la velocidad a la que los conductores discurren por los distintos elementos del firme. La velocidad de operación puede obtenerse por medición directa, lo cual resulta muy costoso y no suele practicarse, y mediante el empleo de modelos. Además, existen modelos **discretos**, que solo se aplican a un tipo de alineación y modelos **continuos**, que pueden aplicarse a un tramo completo de vía, este tipo de modelos suele consistir en la unión de modelos discretos y unas reglas para formar un perfil de velocidad de operación continuo. La consistencia puede obtenerse de una forma local o global.

El primer tipo de evaluación de la consistencia, de una forma **local**, permite identificar elementos que causan conflictos o inconsistencias ya que se realiza el estudio para cada elemento por separado. En este estudio se emplearán los dos criterios establecidos por Lamm et al. en 1995 (ver Tabla 16), estos son:

- Criterio I: se compara la velocidad de operación con la velocidad de proyecto.
- Criterio II: se compara la velocidad de operación entre elementos consecutivos del trazado.

Mediante el criterio Lamm I se obtiene alrededor de un 85% de longitud de consistencia aceptable o pobre en el Tramo 1, y un 52% en el Tramo 2 (ver Figura 13). Por lo tanto, este criterio no puede considerarse como concluyente para encontrar elementos a mejorar en la vía estudiada, ya que debería actuarse en gran parte de la vía. Por otra parte, con el criterio de Lamm II, se obtiene un total de 25 curvas que presentan una inconsistencia (ver Figura 14), por lo que este sí es un criterio concluyente para este estudio. El cálculo de estos criterios se adjunta en el Anexo 9: Seguridad Vial.

Criterio de consistencia I y II de Lamm			
	Buena	Aceptable	Pobre
I	$ v_{85} - v_p \leq 10$	$10 < v_{85} - v_p \leq 20$	$ v_{85} - v_p > 20$
II	$ v_{85_i} - v_{85_{i+1}} \leq 10$	$10 < v_{85_i} - v_{85_{i+1}} \leq 20$	$ v_{85_i} - v_{85_{i+1}} > 20$

TABLA 16. CRITERIO DE CONSISTENCIA LAMM I Y II.
 FUENTE: PÉREZ ET AL., 2011.

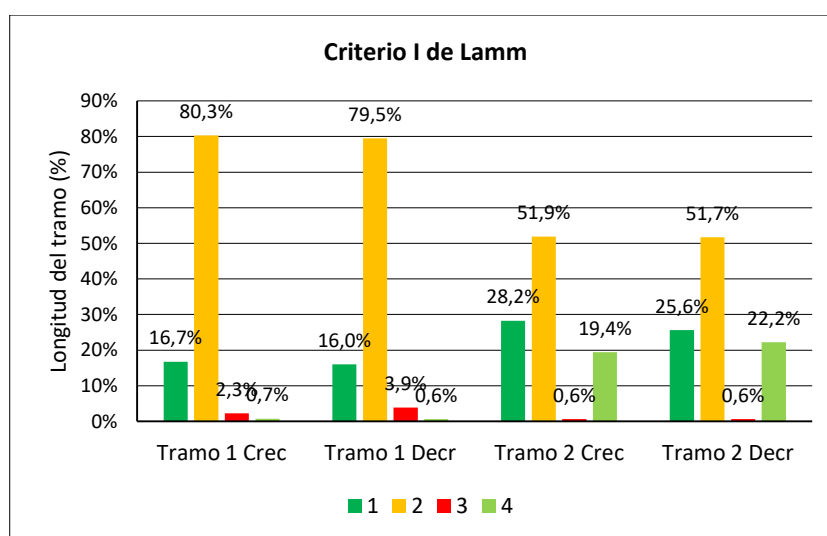


FIGURA 13. CRITERIO LAMM I.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

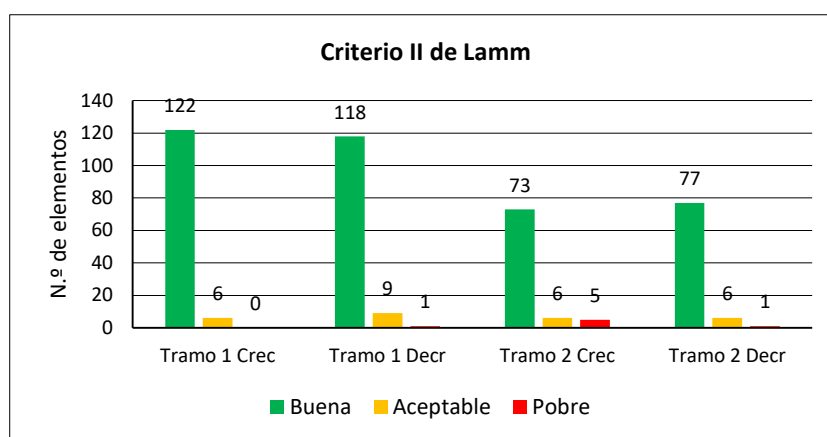


FIGURA 14. CRITERIO LAMM II.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

Existen métodos para cuantificar la consistencia de un tramo de vía de forma **global**. Estos métodos son de utilidad si se quiere saber si un tramo es susceptible de presentar algún problema relativo a la seguridad vial. En este sentido, existe el criterio de consistencia de Polus (ver Tabla 17). Con su uso, se obtiene una consistencia Pobre en los dos tramos estudiados (Anexo 9).

Consistencia (Polus)	$C = e^{-0.278 \cdot [Ra \cdot (\frac{\sigma}{3.6})]}$; Ra (m/s) y σ (km/h)	
Buena $C > 2$ m/s	Aceptable $1 < C \leq 2$ m/s	Pobre $C \leq 1$ m/s

TABLA 17. CRITERIO DE CONSISTENCIA DE POLUS.
 FUENTE: PÉREZ ET AL., 2011.

3.5.3 Estabilidad del vehículo

La estabilidad vehicular hace referencia a la similitud entre el rozamiento transversal de la curva por diseño y el real, es decir, circulando a la velocidad de diseño y a la de operación de la curva, respectivamente. Si estos factores presentan una gran disparidad, un conductor podría perder la habilidad de guiar y controlar su vehículo, por lo que se obtendría una inconsistencia. Asimismo, es necesario remarcar que en el tramo objeto de estudio se tiene una notable cantidad de accidentes en los que el vehículo sale de la vía, este hecho podría explicarse con que la velocidad de operación de algunas curvas es muy dispar a la de diseño, teniéndose un rozamiento transversal demandado mayor al asumido (por diseño).

Lamm et al. (1999) llevaron a cabo un modelo para medir el rozamiento transversal demandado a partir de la velocidad de operación, el radio y el peralte de la curva. Debido a la gran dificultad que conlleva medir el peralte de una curva, y que este cambia a lo largo de la misma, cuando se calcule este rozamiento transversal, se hará con el peralte que impone la normativa vigente. El rozamiento transversal asumido está en función de la velocidad de diseño de la curva. Mediante el empleo de este criterio, se obtiene que casi la totalidad de las curvas presentan una consistencia Pobre, por lo que este criterio no es concluyente en este estudio. El cálculo de este criterio se adjunta en el Anexo 9.

Criterio III de Lamm		
Buena $\Delta f_R \geq 0.01$	Aceptable $0.01 > \Delta f_R \geq -0.04$	Pobre $\Delta f_R < -0.04$

TABLA 18. CRITERIO DE CONSISTENCIA LAMM III.
 FUENTE: PÉREZ ET AL., 2011.

3.5.4 Índices del trazado

Los índices del trazado estudiados son el radio medio (AR) la proporción entre el radio máximo y mínimo (RR) y la proporción entre el radio de cada curva y el radio medio (CRR) (ver Tabla 19). El radio medio sólo demuestra que en el Tramo 1 se circula a una mayor velocidad que el Tramo 2, ya que el AR es mayor, aunque esto puede deberse a que en el primer tramo hay varias curvas de gran radio. El RR de ambos tramos expone que se tiene una vía poco uniforme. Finalmente, los resultados obtenidos al calcular el CRR para cada curva presentan algunas inconsistencias en ciertas curvas que producen bajadas rotundas del parámetro. Los resultados del CRR se presenta de manera gráfica y numérica en el Anexo 9.

Tramo 1		Tramo 2	
Radio medio (AR)	102,18 m	Radio medio (AR)	58,52 m
Radio máximo	1670,46 m	Radio máximo	306,30 m
Radio mínimo	20,00 m	Radio mínimo	12,00 m
RR	83,52	RR	25,53

TABLA 19. ÍNDICES SIMPLES DEL TRAZADO.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.5.5 Conclusiones

De entre todos los criterios de consistencia del trazado, el criterio Lamm II, que depende únicamente de la velocidad de operación, es el único que aporta unos resultados concluyentes en el caso estudiado. Mediante su empleo, se han detectado 25 curvas que presentan problemas de consistencia del trazado y, por lo tanto, de seguridad vial (ver Tabla 20). El modelo utilizado para calcular la velocidad de operación es el que recoge el IHSDM, como se explica en el siguiente punto.

Tr.	N.º	P.K. Inicial	P.K. Final	R	Consistencia Creciente	Consistencia Decreciente
1	10	9+972,17	9+986,75	22	Aceptable	Buena
1	29	10+423,57	10+433,77	25	Buena	Aceptable
1	32	10+539,41	10+543,87	25	Aceptable	Buena
1	107	12+585,40	12+603,05	25	Aceptable	Aceptable
1	128	13+235,00	13+255,62	25	Buena	Aceptable
1	151	13+723,93	13+725,50	23	Buena	Aceptable
1	181	14+228,11	14+235,63	27	Buena	Aceptable
1	205	14+726,73	14+731,56	20	Aceptable	Pobre
1	261	15+993,89	16+011,65	25	Aceptable	Buena
1	300	16+822,75	16+843,65	28	Aceptable	Aceptable
1	329	17+517,28	17+551,14	26	Buena	Aceptable
1	342	17+890,53	17+894,01	30	Buena	Aceptable
2	51	21+805,04	21+808,98	18	Aceptable	Buena
2	69	21+995,95	22+012,97	22	Aceptable	Buena
2	103	22+492,34	22+502,27	15	Aceptable	Buena
2	113	22+599,42	22+625,20	15	Aceptable	Buena
2	118	22+682,79	22+701,16	20	Buena	Aceptable
2	128	22+812,46	22+844,81	22	Aceptable	Aceptable
2	138	23+003,17	23+026,97	18,5	Pobre	Pobre
2	146	23+250,41	23+265,60	17	Pobre	Aceptable
2	175	23+859,04	23+877,59	16	Pobre	Aceptable
2	184	24+032,28	24+033,28	13	Pobre	Buena
2	187	24+064,19	24+084,01	12	Aceptable	Aceptable
2	199	24+202,11	24+228,68	13	Pobre	Buena
2	200	24+228,68	24+233,96	21,5	Buena	Aceptable

TABLA 20. CURVAS DE CONSISTENCIA ACEPTABLE Y POBRE, SEGÚN LAMM II.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.6 Modelos predictivos de la velocidad de operación

Los modelos para la obtención de la velocidad de operación se crean sobre unos pilares fundamentales: las variables de las que depende el modelo, las observaciones en campo y las características de los firmes en los que se realizan estas observaciones.

La morfología de un modelo de este tipo depende mayoritariamente de su autor. Es decir, con unos datos de velocidades en rectas y/o curvas y las características de estos elementos, se forma un modelo predictivo lo más aproximado posible para emplearlos en otros elementos sin necesidad de realizar mediciones directas de la velocidad. Con lo cual, la complejidad de estos modelos puede ser muy grande. Por lo general, se distinguen modelos para rectas, para curvas circulares y para la aceleración y deceleración. Con estas velocidades se puede obtener un perfil de velocidad de operación en el transcurso del tramo estudiado. Para ello, se sigue una serie de suposiciones, generalmente son:

- La velocidad de operación es constante en rectas y curvas circulares.
- En las curvas de acuerdo (clotoides) se produce una aceleración y deceleración para alcanzar la velocidad del elemento siguiente.

En este apartado se ha tratado de formar modelos continuos uniendo varios modelos discretos, para curvas circulares y para curvas, de este modo, se escogerían como puntos conflictivos aquellos que tuvieran una consistencia Aceptable o Pobre en la mayoría de estos cruces de modelos. Aparte, se ha empleado el modelo recogido en el *Interactive Highway Safety Design Model* (IHSDM), ya que tiene en cuenta las pendientes del tramo que se está estudiando, que tienen una gran relevancia en este caso.

3.6.1 Modelos para curvas y rectas

Primeramente, se ha empleado un total de 15 modelos predictivos para curvas, todos dependientes únicamente del radio de la curva estudiada. Para formar un modelo continuo, se ha calculado la velocidad de operación en rectas mediante 5 modelos, algunos de ellos con un valor estático. La exposición de los modelos mencionados y su formulación se recoge en el Anexo 9: Seguridad Vial.

3.6.2 Método de cálculo empleado

Debido a que algunos modelos sólo se emplean en rectas (expresados con números) o curvas (expresados con letras), se han cruzado los distintos métodos para no tener elementos sin calcular (p. ej. método 1+A, 3+D, etc.), es decir, se ha creado una serie de modelos continuos. Tras esto, se han comprobado los criterios de consistencia de Lamm I y II con el fin de determinar aquellos elementos en los que, para la mayoría de estos cruces, se tuviera una consistencia pobre o aceptable. Sin embargo, se ha descartado el empleo de estos cruces de modelos ya que, en la mayoría de los elementos, se obtiene una consistencia pobre. Este proceso se detalla en el Anexo 9: Seguridad Vial.

3.6.3 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos al realizar los cálculos de acuerdo con el apartado anterior se recogen en el Anexo 9: Seguridad Vial. Con el fin de facilitar su comprensión y las conclusiones que de ellos se pueden extraer, se han representado de forma gráfica los resultados para los criterios de consistencia I (ver Figura 15 y 16) y II de Lamm (ver Figura 17 y 18). Puede observarse como la mayoría de los elementos tienen una consistencia Aceptable o Pobre en los criterios Lamm I y II, en todos los cruces

de modelos. Consecuentemente, los resultados obtenidos no son concluyentes, una causa posible es que los modelos empleados no son adecuados para la vía que se está estudiando, por lo que se recurre el modelo recogido en el IHSDM, como se explica en el punto siguiente.

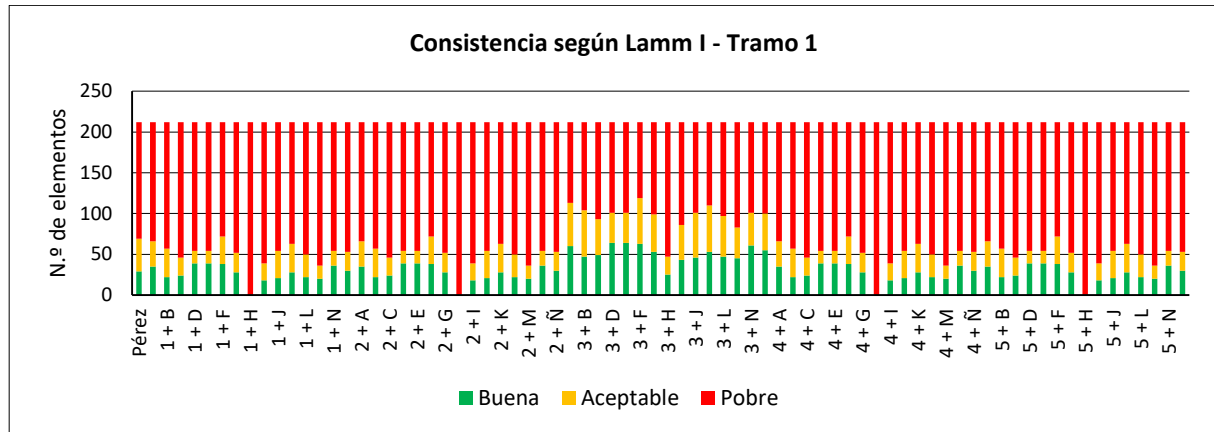


FIGURA 15. CONSISTENCIA SEGÚN LAMM I, TRAMO 1.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

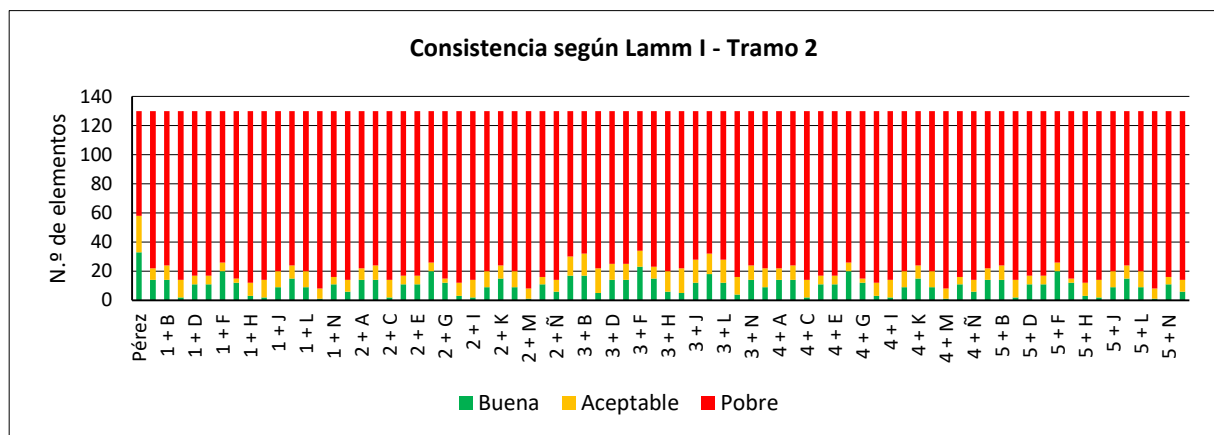


FIGURA 16. CONSISTENCIA SEGÚN LAMM I, TRAMO 2.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

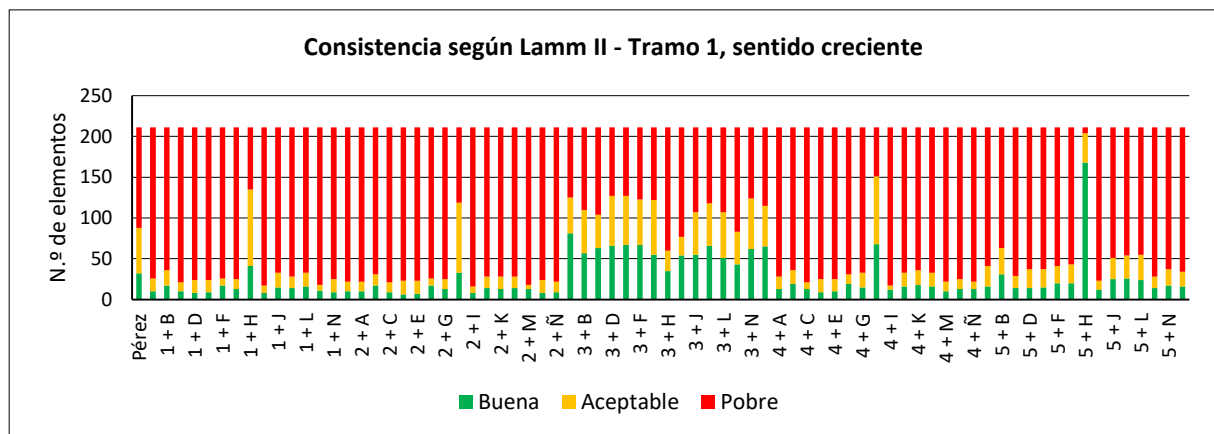


FIGURA 17. CONSISTENCIA SEGÚN LAMM II, TRAMO 1.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

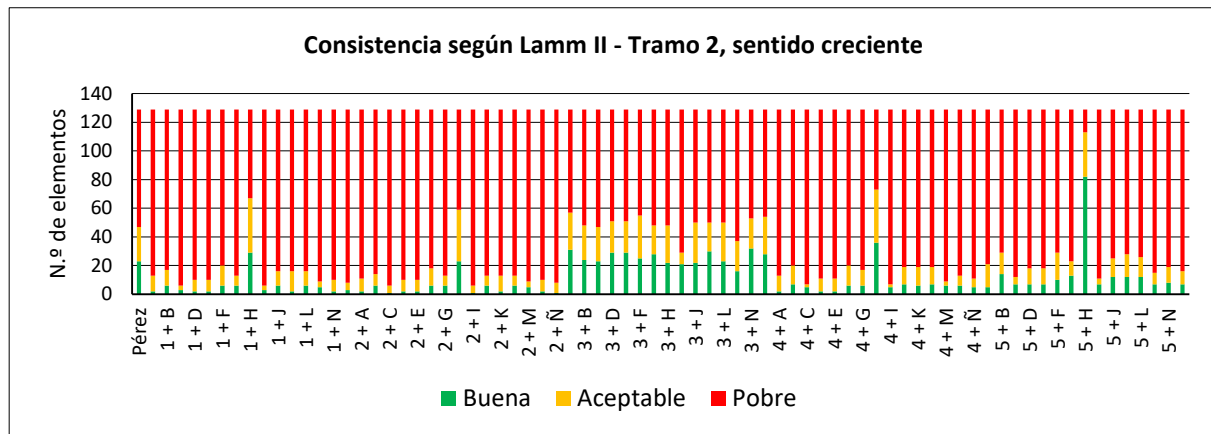


FIGURA 18. CONSISTENCIA SEGÚN LAMM II, TRAMO 2.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.6.4 Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM)

El *Interactive Highway Safety Design Model* (IHSDM) es un grupo de herramientas para los diseñadores de carreteras desarrollado por la FHWA. El IHSDM reúne un total de cinco módulos: Consistencia del diseño (DCM), Conductor/Vehículo (D/VM), Análisis de accidentes (AAM), Revisión de la Normativa (PRM) y Análisis del Tráfico (TAM).

En el análisis de la consistencia del trazado de la vía, que se realiza mediante el módulo DCM, es fundamental realizar el perfil de velocidades de operación V_{85} . Tras esto, el programa comprueba el criterio de Lamm I y II. La formulación del IHSDM se recoge en el Anexo 9: Seguridad Vial.

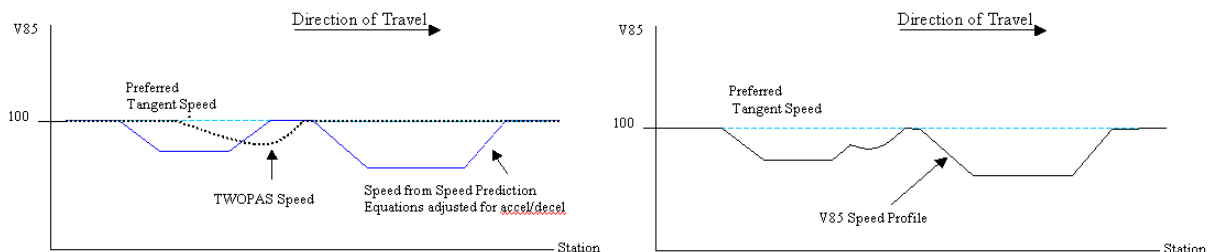


FIGURA 19. FORMACIÓN DEL PERFIL DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN MEDIANTE EL IHSDM.
 FUENTE: MANUAL DEL IHSDM.

3.6.5 Elección del modelo

La elección de un modelo depende de varios factores:

- **Rango de uso.** Un modelo se empleará solamente en un rango de características concreto de los elementos de la vía, según indique el autor. Este rango suele corresponderse con el rango de características en el que se tomaron las mediciones para formar el modelo. Así, por ejemplo, si el radio mínimo de una curva en la obtención de un modelo fue de 100 m, no podría emplearse para radios menores, siempre que no se indicara lo contrario. Esto mismo sucede con las pendientes longitudinales.
- **Suposiciones iniciales.** Muchos modelos se ajustan empleando suposiciones no comprobadas. Este es el caso de suponer que en una curva circular la velocidad es constante, solo hay cambio de velocidad en las curvas de acuerdo.

- **Complejidad de algunos modelos.** En el momento de ajustar un modelo, el autor puede decidir emplear muchas variables y tramificar enormemente el modelo para conseguir una buena correlación (R^2). Por eso mismo, puede que el método tenga un uso costoso y, aun habiéndose conseguido un ajuste alto, no se puede asegurar que los resultados del modelo sean muy parecidos a la realidad.
- **País y año de origen.** El comportamiento de los conductores puede variar mucho entre países o entre distintas décadas. Esto puede deberse, a la normativa vigente de circulación; así, por ejemplo, en España existe un límite máximo de velocidad (120 km/h) y en Alemania, no. Aun así, es posible recalibrar un modelo cuya validez esté probada o cuyo ajuste sea muy bueno para adaptarlo a las necesidades que se tengan.

El modelo de cálculo más adecuado en este caso sería el de Pérez Zuriaga (2012), sin tener en cuenta el que recoge el IHSDM, debido a que se ha desarrollado tomando medidas en carreteras convencionales de la propia Comunidad Valenciana y es muy actual. A pesar de eso, las grandes pendientes longitudinales en la carretera estudiada generan que el uso del modelo no sea del todo adecuado. El modelo está contemplado para pendientes del orden del 3%, siendo las del tramo del orden del 6%, por lo que los coches que suben van a circular de una manera más lenta y los que bajan, más rápida. Además de esto, el tramo está compuesto mayoritariamente por curvas de pequeño radio por lo que una pequeña variación de radios contiguos remite a un notorio cambio en las velocidades de operación, por la forma del propio modelo (ver Figura 20).

Estas condiciones ponen de manifiesto que, si se tienen modelos calibrados en el país de actuación, sean esos los que se utilicen. Además, que se empleen los más actuales si el rango de uso lo permite. Por las propias condiciones de la carretera (radios muy pequeños), la mayoría de los modelos devuelven resultados negativos en al menos una curva (ver Figura 21). Por esto, puede suponerse que los modelos no están calibrados para carreteras de montaña con una elevada sinuosidad.

Finalmente, se tiene el modelo recogido en el IHSDM que, en este caso, por las limitaciones que tiene, es el modelo más adecuado. El empleo del modelo del IHSDM, tiene en cuenta el perfil longitudinal de la vía, como se explica en el apartado anterior, lo cual es una gran ventaja sobre los otros modelos para casos como el estudiado, sinuosos puertos de montaña. Por estos motivos, este será el modelo que se empleará en este estudio y con el que se emplearán los criterios de consistencia expuestos anteriormente.

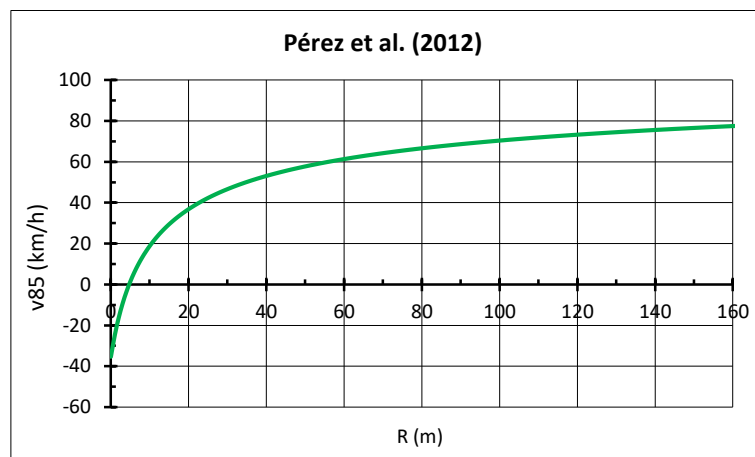


FIGURA 20. MODELO DE PÉREZ ET AL. (2012) PARA CURVAS.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

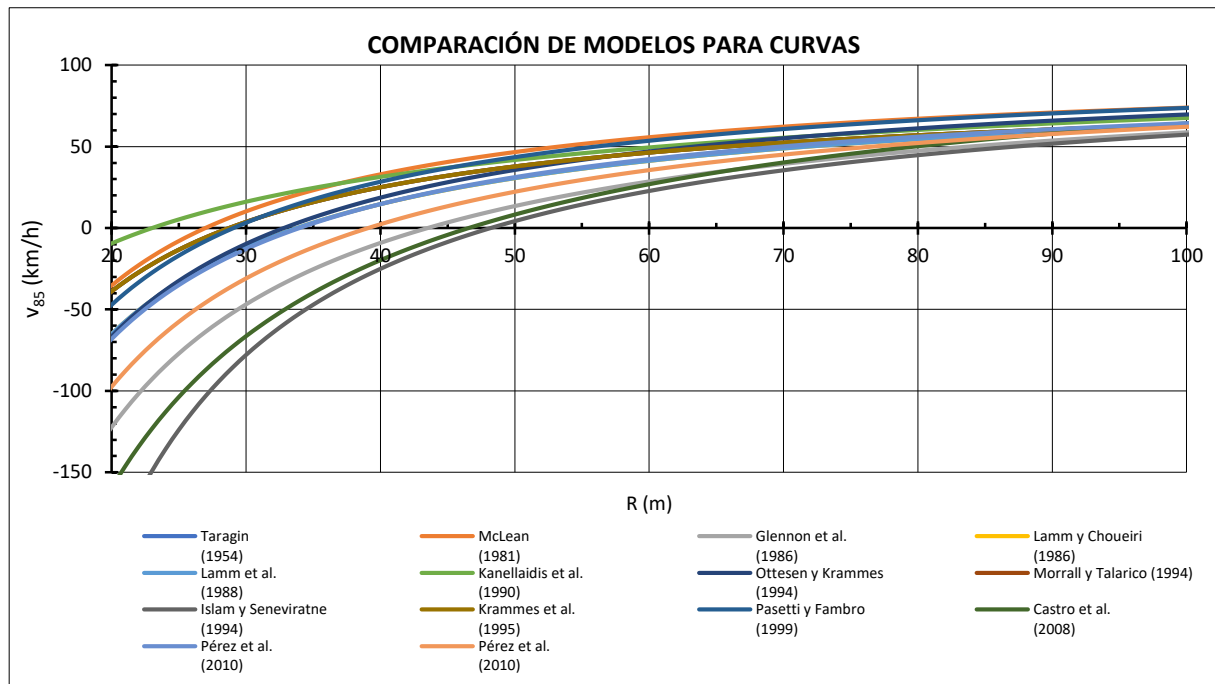


FIGURA 21. COMPARACIÓN DE LOS MODELOS CONVENCIONALES DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN PARA CURVAS.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.6.6 Resultados finales

Finalmente, el modelo seleccionado para calcular la velocidad de operación en el transcurso de la vía es el que se recoge en el IHSDM. El perfil de velocidad de operación se recoge en las Figuras 22 y 23.

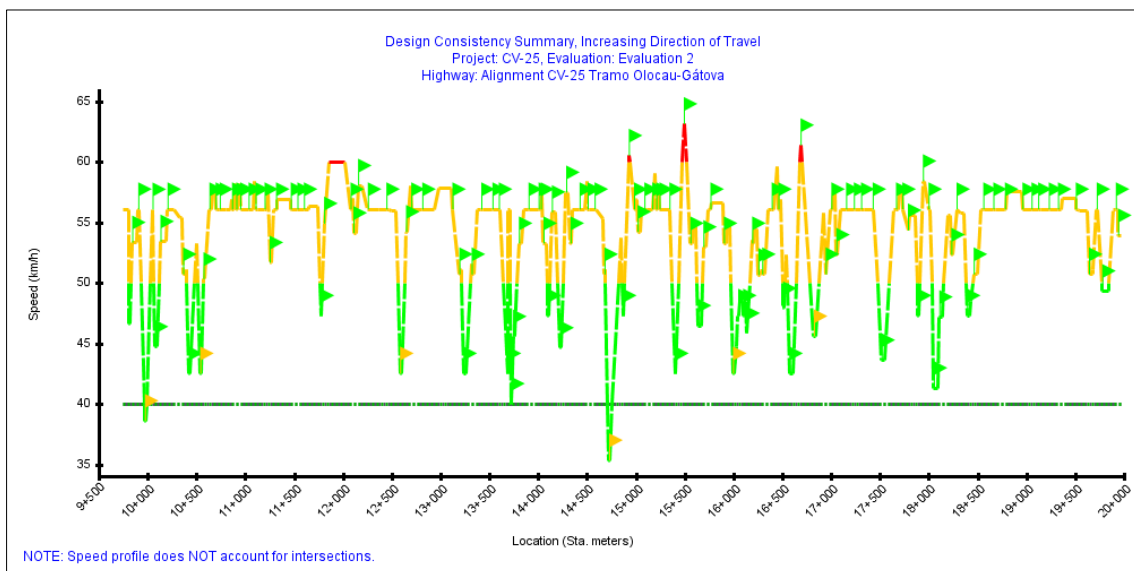


FIGURA 22. PERFIL DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN MEDIANTE EL IHSDM, TRAMO 1.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA MEDIANTE EL IHSDM, 2018.

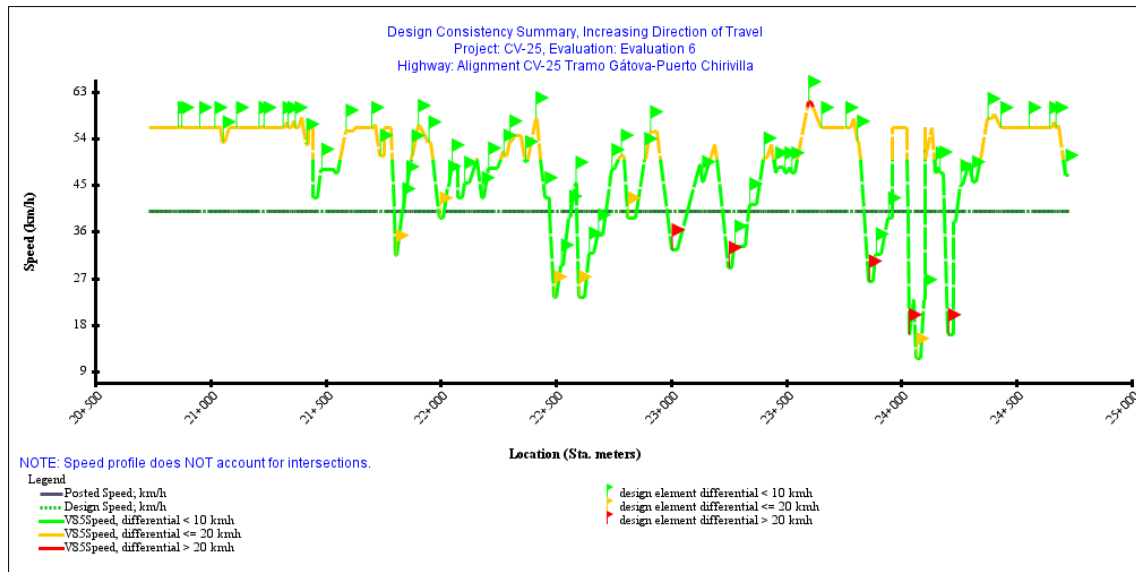


FIGURA 23. PERFIL DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN MEDIANTE EL IHS DM, TRAMO 2.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA MEDIANTE EL IHS DM, 2018.

3.7 Análisis medioambiental

La carretera CV-25 se ubica, en gran parte, dentro de la Sierra Calderona. En el caso que se trata, el tramo estudiado está contenido en su totalidad en dicho Parque Natural. Consecuentemente, se analizará la zona de actuación con el propósito de restringir la forma en la que se pueden proponer mejoras en el trazado y, además, este análisis servirá como punto de partida para una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), necesaria para que se aprueben las actuaciones en el entorno del tramo objeto de estudio.

La Sierra Calderona está declarada como Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y Lugar de Interés Comunitario (LIC), por lo que pertenece a la Red Natura 2000, y Parque Natural, por lo que existe un reglamento propio en lo que a actuaciones en esas zonas se refiere. La normativa que se ha revisado al respecto es el Decreto 77/2001, de 2 de abril, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Sierra Calderona (Art. 55 y 88) y el Decreto 46/2006, de 31 de marzo, del Consell de la Generalitat, por el que se aprueba el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural de la Sierra Calderona (Art. 70). Según estas normas, sólo pueden realizarse modificaciones, o mejoras, en zonas puntuales de la vía CV-25, y no cambios globales en el trazado actual. Además, estos cambios deberán estar respaldados por un Estudio de Impacto Ambiental.

La Sierra Calderona es un paraje en el que abundan especies de fauna y flora con un alto interés medioambiental. Por eso, realizar un correcto Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es una actuación de vital importancia para no afectar en sobremanera al entorno, esta tarea escapa al alcance de este Estudio de mejora de la seguridad vial.

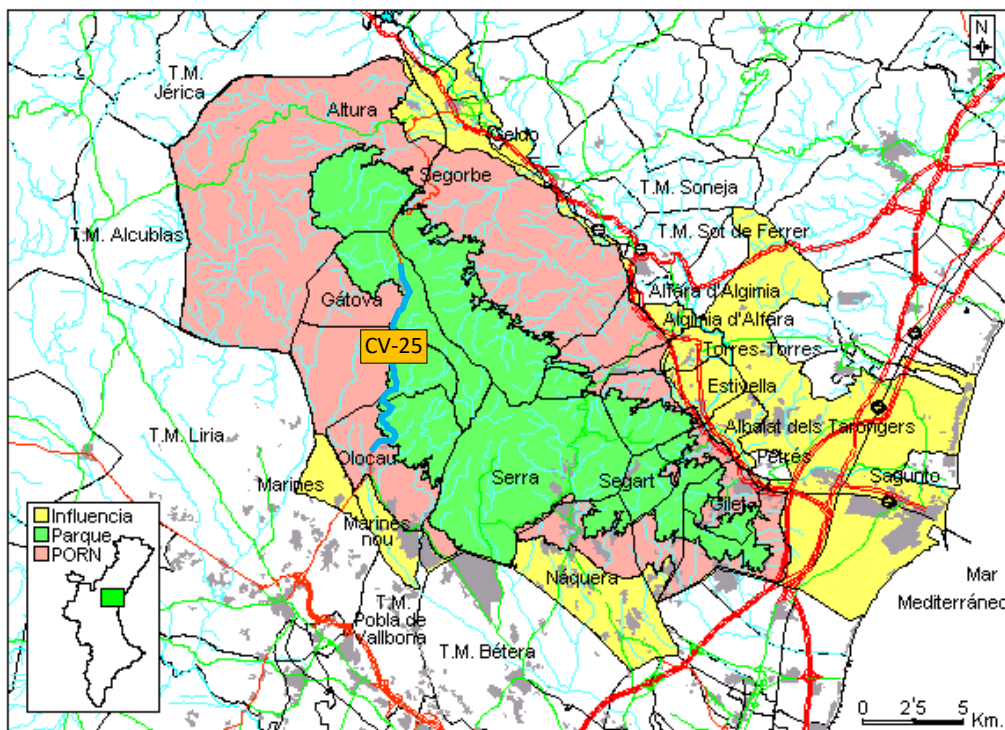


FIGURA 24. UBICACIÓN DEL TRAMO OBJETO DE ESTUDIO DENTRO DEL PARQUE NATURAL DE LA SIERRA CALDERONA.
FUENTE: SITIO WEB DE LA SIERRA CALDERONA DE LA UPV, POR SAHUQUILLO DOBON, 2018.

3.8 Señalización

La señalización dispuesta actualmente en el tramo objeto de estudio (ver Tabla 21) se considera correcta, salvo por la ausencia de balizamiento en algunas curvas que presentan una gran inconsistencia del trazado geométrico, por lo que suponen un peligro para la seguridad vial.

La señalización, vertical y horizontal, que se proyecte para solventar los problemas de seguridad vial del tramo estudiado se definirá de acuerdo con la Norma 8.1-IC “Señalización vertical” y 8.2-IC “Marcas viales”. Los artículos a emplear se exponen en el Anexo 3: Señalización, así como los que se han aplicado para comprobar si la señalización actual es correcta.




LOCALIDAD	VELOCIDAD	SEÑAL	Marca vial eje	Marca vial borde	Otros
Olocau		R-5: prioridad en sentido contrario P-17: estrechamiento de la calzada P-14a/b: curvas peligrosas	NO	SÍ 10 cm	Balizas cilíndricas Paneles verticales Hitos kilométricos
Marines Vell		P-14a: curvas peligrosas P-26: desprendimientos R-305: adelantamiento prohibido	SÍ (continua, 1 km)	SÍ 10 cm	Balizas cilíndricas Paneles verticales Hitos kilométricos
Gátova		P-14a: curvas peligrosas P-14a: curvas peligrosas S-9: Intervalo aconsejado de velocidades (30 – 40 km/h)	NO	SÍ 10 cm	Balizas cilíndricas Paneles verticales Hitos kilométricos

TABLA 21. SEÑALIZACIÓN DISPUESTA ACTUALMENTE EN EL TRAMO OBJETO DE ESTUDIO.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.9 Geología y geotecnia

3.9.1 Estratigrafía

La estratigrafía de la zona se ha extraído de los Mapas de la serie MAGNA publicados por el IGME, en las Hojas 667 y 668. El tramo objeto de estudio discurre por roca (terreno del triásico) y suelo tolerable (material del cuaternario). A continuación, se presentan los materiales que se encuentran en el entorno de la carretera y su descripción de acuerdo con lo publicado en la memoria asociada a las Hojas ya mencionadas (ver Tabla 22).

Hoja	Material	Edad	Serie
667	T _{G1} Lutitas con margas	Triásico	BUNTSANDSTEIN
"	T _{G2} Dolomías y calizas, intercalaciones margosas	Triásico	MUSCHELKALK
"	QL Gravas y arenas	Cuaternario	
"	QAI Gravas, arenas y limos	Cuaternario	
668	T _{G1} Arcillas con areniscas	Triásico	BUNTSANDSTEIN
"	T ^S _{G1} Areniscas	Triásico	BUNTSANDSTEIN

TABLA 22. MATERIALES EN EL ENTORNO DEL TRAZADO DE LA CARRETERA.
 FUENTE: IGME, 1972 Y 1984.

QL - Gravas y arenas – Cuaternario

Aparecen en las elevaciones del sur de la Hoja y rellenan algunos valles en las zonas más abruptas, en la mitad nororiental de la Hoja. Están constituidos por brechas de cantos de distintos tamaños, por lo general no están cementadas y de espesores muy variables.

QAI - Gravas, arenas y limos – Cuaternario – Depósitos aluviales

Rellenan los cauces actuales, mayoritariamente en la mitad sur de la Hoja. Están formados por gravas, arenas y limo-arcillas. Tienen una extensión escasa por el poco desarrollo de los cauces fluviales de la zona.

TG1 - Argilitas – Triásico – Buntsandstein

Arcillas rojas con intercalaciones frecuentes de arenisca micácea y tono rojizo. La potencia observada es del orden de 80 m.

TSG1 - Areniscas – Triásico – Buntsandstein

Areniscas ortocuarcíticas, muy compactadas, en bancos gruesos de tonos rojos, violáceos y blancos. En el tercio inferior se observan intercalaciones delgadas de limolitas arenosas. Presentan una estratificación cruzada muy característica, la potencia del tramo es del orden de 200 m.

3.9.2 Propuesta de campaña geotécnica

La Guía de Cimentaciones en obras de carretera, en su tercer capítulo, incluye una tabla resumen con el número de sondeos recomendados para una serie de casos. Teniendo presente que la gran mayoría de la carretera transcurre por roca, se toma el caso de Apoyo de terraplenes (por si fuera necesarios formarlos).

Ya que el tramo estudiado tiene una longitud de 15,30 km, se estudiará un perfil cada 100 m; es decir, 153 perfiles en total. En cada uno de ellos, se dispondrían dos sondeos (ya que la mayoría de los terraplenes tendrían una altura máxima menor a 10 m). Se tiene, por tanto, un total de 306 puntos de

reconocimiento. Durante las prospecciones, sobre todo en la roca, si se viera que las características no varían en sobremanera entre varias secciones contiguas, podría reducirse el número de sondeos e intercambiarse por otro tipo de pruebas; por ejemplo, estudios geofísicos. Por último, durante los sondeos en terreno granular sería conveniente realizar ensayos SPT en el transcurso de la toma del testigo.

3.9.3 Estabilidad de taludes

La comprobación de la estabilidad actual de las laderas en las lindes del tramo objeto de estudio se ha realizado mediante el recorrido del mismo y teniendo en cuenta los distintos materiales que se encuentran. Se puede agrupar la forma de los desmontes actuales de la carretera en dos grupos: sobre roca (materiales del triásico) y sobre suelo (materiales del cuaternario).

Los desmontes del primer grupo, sobre roca, tienen una morfología homóloga en la totalidad de la carretera. Se trata de paramentos sensiblemente verticales, sobre todo en las curvas cerradas, y en los que se observan los distintos planos que forman el estrato. En sentido creciente, la totalidad de las secciones transversales en roca son a media ladera, con terraplén al este y desmonte al oeste. Por último, se han encontrado algunos ejemplos de bloques de roca que podrían presentar un peligro debido a que se encuentran salientes al talud del que forman parte y es posible que se desprendieran y cayeran sobre el firme. Por ello, sería necesario eliminarlos si se mantiene el eje de la carretera en esas zonas.

Las secciones restantes, sobre terreno del cuaternario (suelo), pueden dividirse en dos grupos. El primero consta de secciones en desmonte con un talud bastante vertical. El segundo se trata de secciones en las que el terreno colindante es sensiblemente horizontal o con taludes de muy baja altura sobre los que el terreno se dispone de esa forma. Cabe destacar que este último grupo se trata predominantemente de campos de cultivo en los alrededores del tramo. La estabilidad de los taludes es correcta salvo en algunas zonas localizadas en donde es necesario retirar cantos y pequeños bloques de roca que están contenidos en el suelo del cuaternario. Aparte, puede comprobarse en diversos emplazamientos que la cuneta de pie de desmonte contiene una cantidad notable de tierra, lo cual denota que algunos taludes, aunque estables, son demasiado acusados por lo que es necesario corregir este aspecto para que la cuneta tenga un funcionamiento eficaz.

El estudio de la estabilidad tras las actuaciones es un punto de vital importancia para el diseño de la sección transversal de la carretera. A este nivel de proyecto, se recurrirá a recomendaciones de la bibliografía y, además, se apoyarán estos resultados en el estudio de la excavabilidad (en rocas). Nótese que la pendiente en roca se ha dispuesto más vertical que en las recomendaciones por los motivos expuestos en el análisis de la excavabilidad. Por último, se comprobará si colocar un muro de escollera en esas secciones reduciría o no el impacto (ver Figura 28). Se determina, finalmente, que tan solo es necesario colocar un muro de escollera en los suelos del cuaternario (ver Tabla 23).

Material	Pendiente	Ángulo	Ángulo muro	MURO
Triásico (Rocas)	1:0,1	84,29°	71,57°	NO
Cuaternario (Gravas y arenas)	1:0,8	51,34°	71,57°	SÍ

TABLA 23. TALUDES ESCOGIDOS PARA LOS DISTINTOS MATERIALES.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

3.9.4 Excavabilidad de los materiales

La excavabilidad de los materiales es un punto fundamental para la elección de posibles cambios en la traza de la carretera. Un material que fuera únicamente excavable por voladura podría presentar un sobrecoste inabordable. En contraposición, este material, excavado por voladura y con los taladros dispuestos correctamente, podría emplearse para construir un muro de escollera en zonas sobre terreno del cuaternario. Este último punto pone de manifiesto la importancia de la elección final del trazado. Como en el análisis de la estabilidad, se tiene dos grupos de materiales:

Hoja		Material	PES (kN/m ³)	RCS (MPa)
667	T _{G1}	Conglomerados	20-25	10-100
"	T _{G1}	Areniscas	20-25	10-50
"	T _{G1}	Lutitas y limos	20-25	10-50
"	T _{G2}	Dolomías	20-26	10-100
"	T _{G2}	Calizas margosas	18-25	2-50
668	T _{G1}	Argilitas	20-25	10-50
"	T ^S _{G1}	Areniscas	20-25	10-50

TABLA 24. CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS DE LA TRAZA.

FUENTE: ADAPTADO DE LA GUÍA DE CIMENTACIONES PARA OBRAS DE CARRETERA.

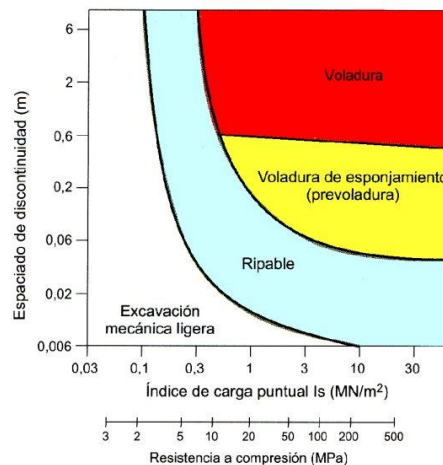


FIGURA 25. CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEGÚN SU EXCAVABILIDAD.

FUENTE: FRANKLIN, 1971.

3.9.5 Diseño de muros de contención

El diseño de los muros de contención y las características de los materiales para su construcción, se exponen en el Anexo 5: geología y geotecnia. Estos muros servirán para formar el talud en desmonte en aquellos lugares que transcurran por suelo tolerable (cuaternario), con el fin de reducir la afección al entorno. Se ha calculado el espesor necesario para cumplir los factores de seguridad para muros de 1 a 6 m. Los cálculos se exponen en el Anexo mencionado.

3.9.6 Materiales para la explanada

Para comprobar la posibilidad de utilización de los materiales de la traza para formar parte de una nueva explanada, es necesario clasificar el suelo existente con arreglo al Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

Es necesario tener en cuenta que no se han realizado trabajos de campo ni de laboratorio y que tampoco se dispone de proyectos previos en los que se realizaran estas tareas. Además, este estudio geotécnico tan solo trata de expresar resultados a un nivel de detalle de estudio previo. Los resultados de este apartado en concreto se emplearán en el análisis multicriterio y en la relación valorada final, ya que si se emplean materiales del desmonte los costes se abaratan con respecto a utilizar otros provenientes de un tercero. Por todo lo expresado anteriormente, se emplearán valores orientativos extraídos de la bibliografía habitual y se harán suposiciones que tendrán como punto de partida las memorias publicadas por el IGME.

Para la clasificación de acuerdo con el PG-3 es necesario conocer los límites de Atterberg y la granulometría del material, por ello, se ha recurrido al libro Geotecnia y cimientos I (J.A. Jiménez Salas, 1975). Se han tomado datos de suelos similares a los que se tienen en la carretera (ver Tabla 25). Por último, se supone un contenido en yesos y en materia orgánica ínfimos.

Material	#200 mm	LL	LP	IP
Arcillas margosas del terciario (facies Röt) *	100%	28,0	19,3	8,7
Gravas y arenas arcillosas (cuaternario) **	49,6%	35,1	33,9	1,2

TABLA 25. LÍMITES DE ATTERBERG DE ALGUNOS SUELOS ESPAÑOLES.

FUENTE: ADAPTADO A PARTIR DE J.A. JIMÉNEZ SALAS.

* Arcillas margosas del terciario lacustre, de los terrenos atravesados por una carretera a través de las Bardenas (Cinco Villas).

** Gravas y arenas arcillosas o limosas del Edificio Roca de las Palmas de Gran Canaria.

CARACTERÍSTICA	SUELOS SELECCIONADOS	SUELOS ADECUADOS	SUELOS TOLERABLES	SUELOS MARGINALES
COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA (ADEMÁS DE # 20 > 70% o bien # 0,080 > 35%)	D _{max} < 100 mm # 0,40 < 15% o bien, # 2 < 80% # 0,40 < 75% # 0,080 < 25%	D _{max} < 100 mm # 2 < 80% # 0,080 < 35%		
PLASTICIDAD	LL < 30, IP < 10	LL < 40 si LL > 30, IP > 4	LL < 65 si LL > 40, IP > 0,73 (LL-20)	si LL > 90, IP < 0,73 (LL-20)
CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA	MO < 0,2%	MO < 1%	MO < 2%	MO < 5% ESTUDIO ESPECIAL si HT > 5 m
CONTENIDO EN SALES SOLUBLES EN AGUA, YESO INCLUIDO	SS < 0,2%	SS < 0,2%	YESO < 5% RESTO SS < 1%	YESO < 20% ESTUDIO ESPECIAL
ASIENTO EN ENSAYO DE COLAPSO			< 1%	ESTUDIO ESPECIAL
HINCHAMIENTO EN EXPANSIÓN LIBRE			< 3%	< 5%

TABLA 26. CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA EXPLANADA.

FUENTE: ADAPTADO A PARTIR DEL PG-3.

Arcillas margosas del terciario (facies Röt).

Debido a que el 100% del material pasa por el tamiz 200 mm, se supone que pasará lo mismo por el tamiz 100 mm, con lo que el diámetro máximo $D_{m\acute{a}x}$ será de 100 mm. Con eso, también se supone que la granulometría del material cumple con el indicado para suelos seleccionados. Seguidamente, se comprueba que los límites de Atterberg también cumplen con los de los suelos seleccionados. Por último y con las suposiciones sobre yesos y materia orgánica, se determina que este material se trata de un suelo

seleccionado. Independientemente de lo explicado, “estos materiales suelen presentar límites líquidos muy altos y presentan un porcentaje de hinchamiento libre superior al 1%” (Prof.^a Garrido de la Torre, M^a Elvira), por lo que este material se cataloga como suelo tolerable, del lado de la seguridad.

Gravas y arenas arcillosas (cuaternario).

La granulometría no cumple ni con la indicada para suelo seleccionado ni con la de suelo adecuado, ya que el diámetro máximo es mayor que 100 mm (#200 mm = 49,6%). El límite líquido es menor de 65, con eso y con las suposiciones hechas, se determina que este material es un suelo tolerable.

La explanada de una carretera consta, normalmente, de tres capas: cimiento, núcleo y explanada. La capa de coronación tan solo puede conformarse con suelos seleccionados o adecuados. Las capas de núcleo y cimiento pueden estar formadas por esos dos suelos y por suelos tolerables. Además, los suelos marginales pueden emplearse para núcleo y explanada pero solo bajo una justificación que conlleva un estudio especial. Por último, se procurará no emplear suelos inadecuados en ninguna capa de la explanada.

CAPA	SUELO SELECCIONADO	SUELO ADECUADO	SUELO TOLERABLE	SUELO MARGINAL	SUELO INADECUADO
CORONACIÓN	✓	✓	✗	✗	✗
NÚCLEO	✓	✓	✓	ESTUDIO PREV.	✗
CIMIENTO	✓	✓	✓	ESTUDIO PREV.	✗

TABLA 27. USOS DE LOS MATERIALES EN LA EXPLANADA.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DEL PG-3.

Para cerrar este apartado, se determina que las arcillas margosas (*facies Röt*) y las gravas y arenas arcillosas (cuaternario), pueden emplearse para núcleo y cimiento de la explanada. La coronación se hará con suelo seleccionado o adecuado (ver Tabla 27), proveniente de préstamos. Finalmente, se tiene dos materiales en la traza de la carretera: roca y suelo tolerable (ver Tabla 28).

P.K. Inicio	P.K. Fin	Material	P.K. Inicio	P.K. Fin	Material
9+746,79	13+067,99	Roca	16+328,19	16+461,19	S. tolerable
13+067,99	13+772,99	S. tolerable	16+461,19	16+920,19	Roca
13+772,99	13+957,99	Roca	16+920,19	17+036,19	S. tolerable
13+957,99	16+295,99	S. tolerable	17+036,19	24+642,19	Roca
16+295,99	16+328,19	Roca			

TABLA 28. TERRENO SUBYACENTE EN EL TRAMO OBJETO DE ESTUDIO.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LA SERIE MAGNA DEL IGME, 2018.

4 PROPUESTAS DE MEJORA

El tramo objeto de estudio, perteneciente a la carretera CV-25, presenta una serie de problemas en lo que a seguridad vial se refiere. Este hecho se ve agravado por la gran presencia de grupos de ciclistas, que circulan por la vía debido a su elevada sinuosidad y a las grandes pendientes del firme. Además, el tramo estudiado está enmarcado en el interior del Parque Natural de la Sierra Calderona, por lo que existe una serie de restricciones que condicionan la naturaleza de las modificaciones del trazado propuestas.

Para plantear las distintas mejoras, este apartado se dividirá en una serie de apartados. Primeramente, se expondrán los criterios que se han tenido en cuenta para determinar los puntos de la carretera en los que es necesario realizar alguna actuación. En segundo lugar, se definirán, de forma general, las mejoras del firme que se van a plantear para cada uno de los elementos definidos en el punto anterior. Finalmente, se hará la propuesta de mejoras en los distintos puntos escogidos. Esta propuesta de mejoras se realizará en forma de fichas, escogiendo aquellas mejoras tipo que es posible ejecutar en cada punto en concreto y descartando el resto.

4.1 Restricciones para un nuevo diseño

Para evitar una afección notoria del medio ambiente, se ha tomado la decisión de plantear mejoras puntuales en la vía, escogiendo los elementos del trazado que presentan cierto peligro y que no se adecúan al resto del tramo objeto de estudio.

4.2 Criterios

Para localizar aquellos puntos del tramo objeto de estudio en los que se precisa de actuación se ha empleado una serie de criterios. Estos criterios son: el estudio de la visibilidad del punto (relación entre la distancia de parada y visibilidad), la siniestralidad registrada en la vía, el índice de accidentalidad EuroRAP mediante el Sliding Window Method y, finalmente, el criterio II de Lamm.

4.2.1 Estudio de la visibilidad

Mediante este estudio se obtiene una longitud considerable que debería mejorarse para aumentar la distancia de visibilidad disponible, modificando el talud de las márgenes, aumentando las bermas o desbrozando la vegetación adyacente a la vía. Debido a que no se obtienen puntos concretos en los que actuar y que estas medidas son agresivas con el medio ambiente, este criterio será complementario a los que verdaderamente escojan los puntos en los que se ha de actuar. El cálculo de este criterio se recoge en el Anexo 9: Seguridad Vial.

4.2.2 Siniestralidad registrada

La siniestralidad registrada en el tramo objeto de estudio también es un indicativo claro de los lugares en los que se precisa de actuación, sobre todo en aquellos puntos en los que se concentran accidentes de la misma tipología (ver Tabla 29). Con este criterio, se intenta mitigar el carácter aleatorio de la accidentalidad. No obstante, este criterio sólo sirve de apoyo a los demás ya que, los lugares en los que la accidentalidad es reiterada presentan características desfavorables desde el punto de vista de la seguridad vial, como la falta de visibilidad o una consistencia pobre del trazado. A pesar de eso, este

criterio resulta útil para determinar qué tipo de mejora se ha de llevar a cabo en cada punto de la vía en concreto, si se han registrado accidentes en esas zonas. La obtención de estos tramos se especifica en el Anexo 10: Estudio de la accidentalidad.

TRAMO	P.K. INICIO	P.K. FIN	N.º ACCIDENTES
1	12+100	12+200	2 2 colisiones
2	13+200	13+500	3 2 salidas + 1 vuelco
3	21+100	21+200	2 1 salida + otro tipo

TABLA 29. TRAMOS A MEJORAR POR CRITERIOS DE SINIESTRALIDAD.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

4.2.3 EuroRAP

El índice de accidentalidad EuroRAP representa los accidentes con fallecidos y heridos graves por cada mil millones de vehículos por kilómetro. Su obtención, mediante el Sliding Window Method, proporciona puntos negros o de concentración de accidentes, independientemente de su tipología. Como este criterio no devuelve elementos del trazado a mejorar, sino tramos en los que existen problemas de accidentalidad, este método no se empleará para seleccionar los elementos a mejorar, sino que será un criterio complementario.

4.2.4 Criterios de consistencia

Como ya se ha explicado en el anexo de Seguridad Vial, la consistencia del trazado es un concepto de vital importancia en el diseño y modificación de carreteras. Si se tiene una buena consistencia en toda la longitud del tramo objeto de estudio, las características del trazado previstas por el conductor a medida que lo recorre se corresponderán con las características reales del trazado.

Existe una gran variedad de métodos para medir la consistencia de una carretera, de entre ellos se empleará el criterio II de Lamm, porque es el único que proporciona unos resultados concluyentes, como se expone en el Anexo 9: Seguridad Vial. Este criterio depende de la velocidad de operación, que se calculará mediante las ecuaciones que emplea el IHSDM, como se especifica dicho Anexo. En este estudio se han considerado dos tramos: Olocau – Gátova y Gátova – Puerto de Chirivilla.

4.3 Zonas en las que se precisa actuación

El criterio que realmente tiene una mayor relevancia es el criterio de consistencia de Lamm II, con su uso se han localizado ciertos elementos a mejorar, son elementos con consistencia Aceptable o Pobre. Aparte, se ha seleccionado una curva perteneciente a uno de los tramos de concentración de accidentes (ver Tabla 30).

Tr.	N.º	P.K. I	P.K. F	Criterio
1	10	9+972,17	9+986,75	Lamm II
1	29	10+423,57	10+433,77	Lamm II
1	32	10+539,41	10+543,87	Lamm II
1	96	12+107,65	12+139,16	Siniestralidad
1	107	12+585,40	12+603,05	Lamm II
1	128	13+235,00	13+255,62	Lamm II
1	151	13+723,93	13+725,50	Lamm II
1	181	14+228,11	14+235,63	Lamm II
1	205	14+726,73	14+731,56	Lamm II
1	261	15+993,89	16+011,65	Lamm II

Tr.	N.º	P.K. I	P.K. F	Criterio
2	51	21+805,04	21+808,98	Lamm II
2	69	21+995,95	22+012,97	Lamm II
2	103	22+492,34	22+502,27	Lamm II
2	113	22+599,42	22+625,20	Lamm II
2	118	22+682,79	22+701,16	Lamm II
2	128	22+812,46	22+844,81	Lamm II
2	138	23+003,17	23+026,97	Lamm II
2	146	23+250,41	23+265,60	Lamm II
2	175	23+859,04	23+877,59	Lamm II
2	184	24+032,28	24+033,28	Lamm II

Tr.	N.º	P.K. I	P.K. F	Criterio
1	300	16+822,75	16+843,65	Lamm II
1	329	17+517,28	17+551,14	Lamm II
1	342	17+890,53	17+894,01	Lamm II

Tr.	N.º	P.K. I	P.K. F	Criterio
2	187	24+064,19	24+084,01	Lamm II
2	199	24+202,11	24+228,68	Lamm II
2	200	24+228,68	24+233,96	Lamm II

TABLA 30. TRAMOS A MEJORAR.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

4.4 Mejoras propuestas tipo

Debido a que se ha de mejorar un número considerable de puntos en el tramo objeto de estudio, se ha decidido proponer una serie de mejoras tipo. El objetivo es definir, de forma general, su función y la forma en la que se deben realizar. *“Las medidas en los tramos de concentración de accidentes con problemas de trazado pueden incluir su modificación. Donde no es posible realizarla, se debe facilitar la percepción por el conductor de la discontinuidad de las características del trazado, mediante la instalación de una señalización horizontal y vertical y de un balizamiento, de características diferentes a las del resto del tramo. (...) También pueden resultar necesarios el acondicionamiento de las márgenes, la mejora de la resistencia del pavimento al deslizamiento y la instalación de dispositivos de contención de vehículos”* (Kraemer et al., 2003). Las mejoras propuestas son las siguientes: modificación del trazado, modificación de las márgenes, peraltes, estado del pavimento, señalización y sistemas de contención. Finalmente, se han descartado directamente las medidas de un estudio de los peraltes y del estado del pavimento.

4.4.1 Modificación del trazado

Una correcta modificación del trazado puede solventar problemas de consistencia en puntos concretos de la vía. Se procurará que las modificaciones que se propongan sean de acuerdo con la normativa vigente de trazado 3.1-IC, siguiendo los puntos explicados en el Anexo 1: Análisis geométrico actual. Modificar el trazado supone modificar el perfil de velocidades de operación, por lo que esta modificación sólo se llevará a cabo cuando sea posible modificar el radio de la curva estudiada para que sea similar al radio anterior y posterior (Caso (a), Figura 26), ya que, si se modificase para formar un radio que solo fuera similar a una de las curvas contiguas, se trasladaría la inconsistencia a otra curva, no se eliminaría (en el Caso (b), Figura 26, aparece una nueva inconsistencia en C3, si se aumenta el radio de C2).

La condición fundamental para realizar esta mejora es que sea posible encajar un radio adecuado en el eje actual sin tener solapes con los demás elementos del trazado de esa zona, ya que se quieren hacer actuaciones puntuales. Además, sólo se planteará esta mejora si los radios contiguos son similares. Con estas dos condiciones, se obtienen 13 curvas que pueden modificarse, algunas de las cuales también cumplirán la consecución de radios.

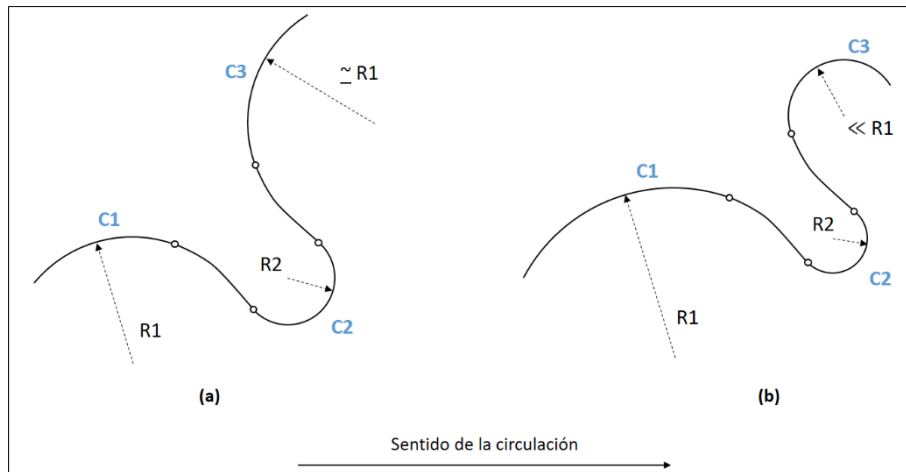


FIGURA 26. ZONAS EN LAS QUE SE PUEDE MEJORAR EL TRAZADO (A) Y ZONAS EN LAS QUE NO (B).
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

En aquellas curvas que no trascurren por roca, se plantea, en el Anexo 5: Geología y geotecnia, construir un muro de escollera en el talud de desmonte para reducir la zona de afección al medio natural (ver Figura 28). Por otra parte, el diseño de la explanada y el firme (ver Figura 27) se recoge en el Anexo 4: Firmes y pavimentos, donde también se calcula el precio por metro lineal de la solución adoptada. Finalmente, será necesario delimitar la calzada con líneas continuas de 10 cm de ancho, de acuerdo con la Norma 8.2-IC “Marcas viales”, expuesta en el Anexo 3: Señalización.

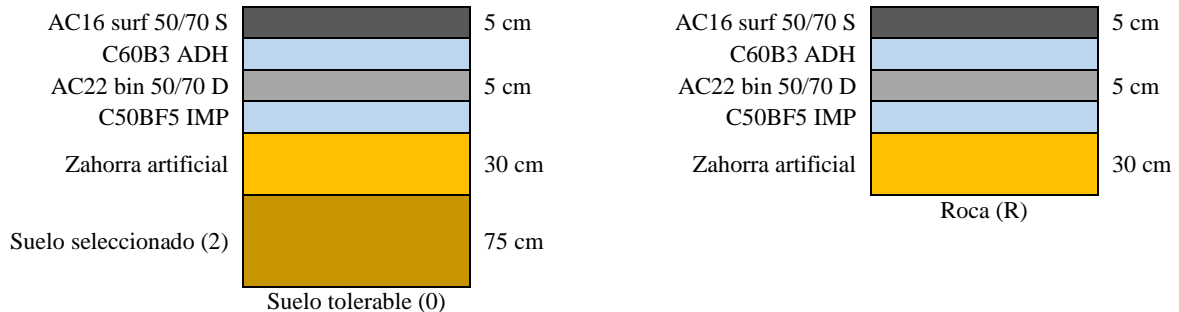


FIGURA 27. SECCIÓN TIPO DEL PAQUETE DE FIRMES SOBRE SUELO TOLERABLE Y SOBRE ROCA.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

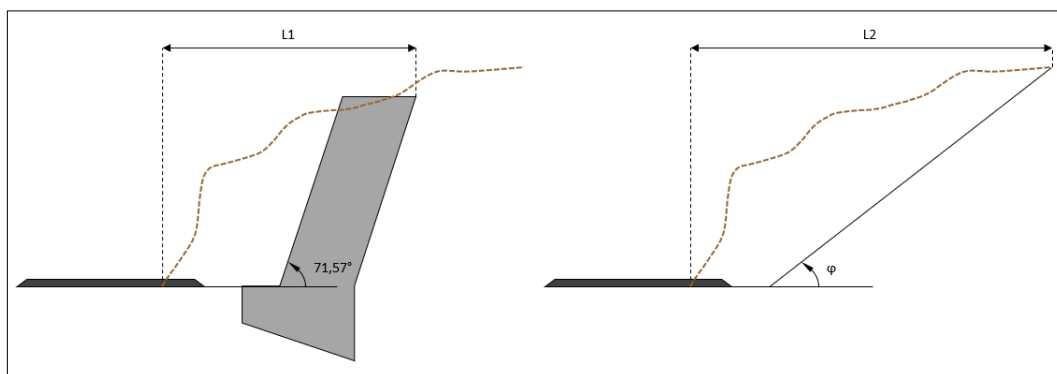


FIGURA 28. COMPARACIÓN DE LA LONGITUD DE ACTUACIÓN EN DESMONTE.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

4.4.2 Modificación de las márgenes

Hay un gran número de actuaciones posibles a realizar en las márgenes para mitigar la accidentalidad de las carreteras (Zegeer et al., 1988):

- Tender los taludes donde la siniestralidad registrada demuestra que es necesario.
- Aumentar la zona despejada de las márgenes, incluyendo señalización y postes.
- Extender las cunetas.
- Eliminar la vegetación y otros obstáculos cercanos al borde de la calzada.

McGee W & Hanscom R (2006) expusieron algunas mejoras, que catalogaron de bajo coste, entre las que se incluyen las ya mencionadas y algunas adicionales:

- Sistemas de contención en las márgenes (se estudia en el punto 4.4.4).
- Instalación de líneas reflectantes en los sistemas de contención de las márgenes (mejora a estudiar en el punto 4.4.4).

4.4.3 Señalización

La señalización es una forma de advertir al conductor de ciertos peligros o inconsistencias en el trazado, que se realiza en lugar de modificar el trazado que es el propio causante de la necesidad de esa señalización. La principal ventaja de realizar esta propuesta de mejora en el caso estudiado es la ligera afección al medio natural, en comparación con otras actuaciones. Esta señalización se debe realizar de acuerdo con la normativa vigente de señalización vertical 8.1-IC y señalización horizontal 8.2-IC.

Debido a que todos los elementos en los que se plantean las mejoras son curvas, se emplearán los artículos referentes al balizamiento de curvas, que se expone en el anexo de señalización. Los resultados obtenidos se recogen en el apéndice A, en donde se determina si es necesario balizar las curvas y qué tipo de señalización se ha de colocar.

4.4.4 Sistemas de contención

Cuando no es posible, o resulta muy costoso, modificar el trazado de la vía o ampliar las márgenes de la misma y la señalización de la zona no resuelve los problemas de seguridad vial, una solución a tener en cuenta es la de implantar sistemas de contención. Se hará de acuerdo con la Orden Circular 35/2014, la obtención del tipo de barreras a instalar se expone en el Anexo 11: Sistemas de contención.

4.4.5 Comparación de las mejoras

Se ha realizado una Tabla con las ventajas e inconvenientes de las cuatro mejoras tipo propuestas para resumir lo expuesto en los puntos anteriores y presentar algunas de las razones por las que se pueden descartar ciertas mejoras, en su caso (ver Tabla 31).

MEJORA PROPUESTA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Modificación del trazado	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación directa de las inconsistencias del trazado. • Mejora del nivel de servicio del tramo objeto de estudio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste superior a las otras mejoras propuestas. • Afección al entorno considerable. • Recálculo de la V85.
Modificación de las márgenes	<ul style="list-style-type: none"> • Los conductores habituales siguen circulando de acuerdo con su experiencia en esa vía. • Menor afección al entorno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la siniestralidad, pero no de una manera drástica. • Sigue habiendo afección al entorno.
Señalización	<ul style="list-style-type: none"> • Implantación rápida y económica. • Afección al entorno ínfima. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sigue habiendo inconsistencias en el trazado. • No sirve para un tramo completo, si se señala toda la longitud de la vía la señalización pierde validez.
Sistemas de contención	<ul style="list-style-type: none"> • Afección al entorno ínfima. • Implantación rápida y económica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sigue habiendo inconsistencias en el trazado. • Presentan cierto peligro en sí mismos.

TABLA 31. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS MEJORAS PROPUESTAS.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

4.4.6 Conclusiones

Lo expuesto en este apartado puede resumirse en la Tabla 32, que incluye los puntos que se van a mejorar y qué propuestas de mejora se llevan a cabo en cada caso. No ha sido posible, por motivos de la ocupación del suelo e impacto ambiental, realizar mejoras en las márgenes consistentes en tender el talud existente. La única actuación que es posible realizar en las márgenes, es la de despejar la vegetación que impide una correcta visibilidad, tan solo en dos puntos del trazado. Esta medida, por tener un uso muy poco extenso, no se computará en el análisis multicriterio. En su defecto, se añadirá a la medida escogida en ese emplazamiento.

Tr.	N.º	R (m)	P.K. I	P.K. F	Trazado	Márgenes	Señalización	S. contención
1	10	22,00	9+972,17	9+986,75			X	
1	29	25,00	10+423,57	10+433,77	X		X	
1	32	25,00	10+539,41	10+543,87	X		X	
1	96	42,00	12+107,65	12+139,16			X	
1	107	25,00	12+585,40	12+603,05			X	X
1	128	25,00	13+235,00	13+255,62	X		X	
1	151	23,00	13+723,93	13+725,50			X	X
1	181	27,00	14+228,11	14+235,63	X		X	
1	205	20,00	14+726,73	14+731,56	X	X	X	X
1	261	25,00	15+993,89	16+011,65	X		X	X
1	300	28,00	16+822,75	16+843,65	X		X	X
1	329	26,00	17+517,28	17+551,14			X	
1	342	30,00	17+890,53	17+894,01			X	
2	51	18,00	21+805,04	21+808,98	X		X	
2	69	22,00	21+995,95	22+012,97	X		X	
2	103	15,00	22+492,34	22+502,27	X		X	X ***
2	113	15,00	22+599,42	22+625,20	X		X	X ***
2	118	20,00	22+682,79	22+701,16	X		X	X ***
2	128	22,00	22+812,46	22+844,81			X	X ***
2	138	18,50	23+003,17	23+026,97	X	X	X	X ***
2	146	17,00	23+250,41	23+265,60			X	X ***
2	175	16,00	23+859,04	23+877,59			X	X ***
2	184	13,00	24+032,28	24+033,28			X	X ***
2	187	12,00	24+064,19	24+084,01			X	X ***

Tr.	N.º	R (m)	P.K. I	P.K. F	Trazado	Márgenes	Señalización	S. contención
2	199	13,00	24+202,11	24+228,68			X	
2	200	21,52	24+228,68	24+233,96			X	
					13	2	26	5 (+9)

*** INSTALAR PROTECCIÓN PARA MOTORISTAS, SISTEMA DE CONTENCIÓN YA INSTALADO.

TABLA 32. MEJORAS TIPO PROPUESTAS EN LOS DISTINTOS ELEMENTOS A MODIFICAR.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

4.5 Análisis multicriterio

Para cada elemento a mejorar, se decidirá de entre las mejoras tipo expuestas en el apartado anterior la que, definitivamente, se llevará a cabo, mediante un análisis multicriterio. Este análisis multicriterio se realiza ponderando ciertas características de cada propuesta de mejora para obtener un resultado numérico que cuantifique lo adecuada que es. La valoración de cada característica se ha realizado en base 5, para cada uno de los criterios se expone cómo se obtiene esta valoración. Hay algunas mejoras que se han descartado directamente, por lo que en ciertos emplazamientos sólo se ha planteado un tipo de mejora. Consecuentemente, en esas zonas no será necesario realizar este análisis. Se ha tenido en cuenta una serie de criterios para realizar este análisis multicriterio:

4.5.1 Valoración económica

El coste monetario de la mejora es un criterio de gran importancia ya que, es necesario intentar, en la medida de lo posible, que las soluciones que se adopten sean lo más económicas posible. Aunque, no hay que descuidar la calidad y eficacia de las propuestas de mejora, por lo que este no es el único criterio a tener en cuenta. La obtención del coste (material) de cada una de las mejoras propuestas se expone en los apéndices de este anexo. Finalmente, la valoración de este criterio se realiza de tal forma que la medida de mejor coste tenga una puntuación de 5, las restantes se obtienen como la proporción del coste de la medida más económica con su propio coste y por 5. La obtención de la valoración económica se expone detalladamente en el Anexo 7: Propuestas de mejora.

4.5.2 Aumento de la seguridad vial

El aumento de la seguridad vial del tramo objeto de estudio es el fin último de la redacción de este estudio, por lo tanto, este será un criterio a tener en cuenta. “*La estimación de la reducción de la siniestralidad se puede realizar aplicando la experiencia obtenida en el seguimiento de los resultados de actuaciones similares*” (Kraemer et al., 2003). Para cuantificar el grado en el que una medida es más o menos efectiva, se emplearán valores obtenidos por distintos autores, basados en la mencionada experiencia. En este sentido, se introducirá el concepto de *Crash Modification Factor* (CMF) o, su concepto opuesto, coeficientes de reducción de accidentes.

Los coeficientes de reducción de accidentes son “*la proporción de accidentes que se evitará tras la ejecución de cada tipo de actuación*” (Kraemer et al., 2003) y se suele expresar porcentualmente. Un CMF es lo opuesto, es decir, el porcentaje de accidentes que se seguirán dando tras realizar una medida en concreto, y se suele expresar en tanto por uno. La valoración de este criterio se realizará mediante el CRF, es decir, el porcentaje de accidente que se evitan al hacer una medida en concreto. Para que esta valoración esté en base 5, se dividirá el CRF por 20, de esta forma, si una medida evita en 100% de accidentes, su puntuación será la máxima en esta faceta. La obtención de estos indicadores se expone detalladamente en el Anexo 7: Propuestas de mejora.

4.5.3 Impacto ambiental

A falta de Estudio de Impacto Ambiental (EIA), la afección al entorno se realizará de forma aproximada, cuantificando las mejoras tipo. Se ha supuesto que una modificación del trazado afecta considerablemente al entorno, la afección se ha cuantificado en 2. La señalización y los sistemas de contención no afectan al medio ambiente, si se instalan sin interferir en él. Por lo explicado, la afección se ha cuantificado en 5 (no hay afección) (ver Tabla 33).

MEDIDA	Trazado	Señalización	S. contención
Afección	2	5	5

TABLA 33. VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS MEJORAS PROPUESTAS.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

4.5.4 Plazo de ejecución

El tramo objeto de estudio ofrece un acceso exclusivo a ciertos municipios, es decir, no se puede acceder a ellos por ninguna otra vía. Por tanto, ha de procurarse que las obras tengan un plazo lo más corto posible, para no entorpecer la circulación de los vehículos y para evitar problemas de seguridad vial por los equipos de trabajo. La valoración se obtiene de una manera análoga a la de la valoración económica. El cálculo del plazo de ejecución se expone en el Anexo 7: Propuestas de mejora.

4.5.5 Ponderación

La ponderación de cada uno de los criterios descritos anteriormente (ver Tabla 34) se ha propuesto de acuerdo con las siguientes pautas:

- **Importancia:** En este estudio se busca minimizar la afección al medio ambiente y aumentar la seguridad vial del tramo objeto de estudio. El coste de las obras también es de gran importancia ya que, si el presupuesto de las actuaciones fuera muy elevado podría, incluso, decidirse no realizar alguna de ellas.
- **Exactitud:** cuantificar algunos de los criterios resulta difícil y, consecuentemente, impreciso. Por ello, se ponderará con un peso menor aquellos criterios que resultan más imprecisos, aunque su importancia en este estudio sea muy grande.

CRITERIO	Valoración económica	Seguridad vial	Plazo	Impacto ambiental
Peso	30%	20%	25%	25%

TABLA 34. PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

Siguiendo estas pautas, la valoración económica de las acciones es el criterio con mayor peso, con un 30%, ya que, aunque no es el que más importancia tiene, sí puede obtenerse con una exactitud bastante buena. El plazo y el impacto ambiental tienen un peso de un 25%. El plazo no tiene una importancia excesiva sobre los demás criterios, pero sí puede obtenerse con una exactitud superior a alguno de ellos. El impacto ambiental no puede cuantificarse debidamente ya que se carece de un EIA, pero, en este caso, hay medidas que sí puede afirmarse que suponen una afección al entorno ínfimas. Finalmente, el aumento de la seguridad vial, aun siendo muy importante en este estudio, no puede cuantificarse de una manera precisa debido a que los tramos a mejorar tienen una longitud muy pequeña, por lo que el uso de ciertos modelos no da resultados satisfactorios, además, algunos *Crash Modification*

Factors (CMF) tienen un valor estático para la misma medida. Por todo lo explicado, se pondera el aumento de la seguridad vial con un peso del 20%.

4.5.6 Conclusiones

Tras realizar el análisis multicriterio, se obtiene que para todos los puntos estudiados la mejor mejora a realizar es el balizamiento de las curvas. Este resultado se debe al poco coste de esta mejora en relación con las demás expuestas, y a su corto plazo de ejecución. Además, como ya se ha expuesto anteriormente, a estas mejoras falta añadirles el despeje de la vegetación en dos puntos estudiados. Finalmente, podría también instalarse sistemas de contención en aquellas curvas que lo necesiten, además de colocar el balizamiento. Consecuentemente, la propuesta de mejoras resulta como se expone en la Tabla 35.

Tr.	N.º	R (m)	P.K. I	P.K. F	Márgenes	Señalización	S. contención
1	10	22,00	9+972,17	9+986,75		X	
1	29	25,00	10+423,57	10+433,77		X	
1	32	25,00	10+539,41	10+543,87		X	
1	96	42,00	12+107,65	12+139,16		X	
1	107	25,00	12+585,40	12+603,05		X	X
1	128	25,00	13+235,00	13+255,62		X	
1	151	23,00	13+723,93	13+725,50		X	X
1	181	27,00	14+228,11	14+235,63		X	
1	205	20,00	14+726,73	14+731,56	X	X	X
1	261	25,00	15+993,89	16+011,65		X	X
1	300	28,00	16+822,75	16+843,65		X	X
1	329	26,00	17+517,28	17+551,14		X	
1	342	30,00	17+890,53	17+894,01		X	
2	51	18,00	21+805,04	21+808,98		X	
2	69	22,00	21+995,95	22+012,97		X	
2	103	15,00	22+492,34	22+502,27		X	X ***
2	113	15,00	22+599,42	22+625,20		X	X ***
2	118	20,00	22+682,79	22+701,16		X	X ***
2	128	22,00	22+812,46	22+844,81		X	X ***
2	138	18,50	23+003,17	23+026,97	X	X	X ***
2	146	17,00	23+250,41	23+265,60		X	X ***
2	175	16,00	23+859,04	23+877,59		X	X ***
2	184	13,00	24+032,28	24+033,28		X	X ***
2	187	12,00	24+064,19	24+084,01		X	X ***
2	199	13,00	24+202,11	24+228,68		X	
2	200	21,52	24+228,68	24+233,96		X	
					2	26	5 (+9)

*** INSTALAR PROTECCIÓN PARA MOTORISTAS, SISTEMA DE CONTENCIÓN YA INSTALADO.

TABLA 35. PROPUESTA FINAL PARA MEJORAR LA SEGURIDAD VIAL DEL TRAMO.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

5 RELACIÓN VALORADA

La relación valorada de este Estudio de Mejora de la Seguridad Vial se ha realizado con los datos proporcionados por el ministerio de Fomento en la orden Circular 37/2016: Base de Precios de referencia de la Dirección General de Carreteras (los precios unitarios empleados para calcular la relación valorada final y la de cada una de las propuestas de mejora se recogen en el Anexo 8: Relación valorada).

Como se ha expuesto en puntos anteriores, la solución final resulta en el balizamiento de todas las curvas con consistencia Pobre o Aceptable. A esta medida se le suma el despeje de la vegetación que no permite una correcta visibilidad de la vía en dos puntos de ésta y la instalación de los sistemas de contención en aquellos emplazamientos en donde hay un cierto peligro en las márgenes de la vía.

Código	Unidad	Definición	Medición	Precio unit.	Precio (€)
1		Movimiento de tierras			166,46
1.01	m2	Despeje y desbroce	287,00	0,58	166,46
2		Señalización			34.253,90
2.01	ud	Panel direccional doble 80x40 cm	31	150,37	4.661,47
2.02	ud	Panel direccional triple 80x40 cm	21	206,68	4.340,28
2.03	ud	Señal S-7 cuadrada 90x90 cm	73	197,67	14.429,91
2.04	ud	Señal P-13 o P-14 triangular 135 cm de lado	52	208,12	10.822,24
3		Sistemas de contención			34.984,42
3.01	m	Barrera de seguridad simple, nivel de contención N2	1.062,71	32,92	34.984,42
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)					69.404,78
Gastos Generales (GG)				17%	11.798,82
Beneficio Industrial (BI)				6%	4.164,29
GG + BI					15.963,11
Presupuesto sin IVA					85.367,89
IVA				21%	17.927,26
Presupuesto Base de Licitación (PBL)					103.295,15

El Presupuesto Base de Licitación (PBL) asciende a la cantidad de **CIENTO TRES MIL DOSCIENTOS NOVENTA Y CINCO EUROS CON 15 CÉNTIMOS.**

6 **NORMATIVA**

Trazado

- Norma 3.1-IC “Trazado” (Orden FOM/273/2016, de 19 de febrero).

Señalización

- Norma 8.1-IC “Señalización vertical” (Orden FOM/534/2014, de 20 de marzo).
- Norma 8.2-IC “Marcas viales” (Orden FOM/185/1987, de 4 de agosto).

Análisis medioambiental

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3).
- Norma 6.1-IC “Secciones de firme”.

Sistemas de contención

- Orden Circular 35/2014 Sobre Criterios De Aplicación De Sistemas De Contención De Vehículos.

Firmes y pavimentos

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3).
- Norma 6.1-IC “Secciones de firme”.

Geología y geotecnia

- Guía de cimentaciones en obras de carretera.
- Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera.

7 OTROS ASPECTOS

Durante la redacción de este Trabajo de Fin de Grado (TFG), se han planteado ciertas cuestiones que, finalmente, no se han realizado por la dificultad que suponen o porque escapan al alcance del Estudio, pero son de interés si se realizara un análisis con una profundidad mayor.

□ En el estudio de la distancia de visibilidad y parada, si se sigue lo que expone la Norma 3.1-IC de Trazado, la distancia de parada es la que se necesita para detener el vehículo ante un obstáculo que se encuentra parado. Debido a que existe un volumen de tráfico importante de ciclistas, se planteó estudiar la distancia de parada que se tiene frente a un obstáculo en movimiento. Existen cuatro posibilidades para realizar este análisis (ver Figura 29), dos de las cuales dejan del lado de la inseguridad a los resultados obtenidos para un obstáculo quieto, se trata de las posiciones (a) y (d), en las que ambos vehículos van en distinto sentido. En estas situaciones, la velocidad relativa a la que se acercan ambos vehículos es la suma de la velocidad a la que va el turismo y la del ciclista. Esto puede resultar en una mayor distancia de parada o en un frenado brusco, con un mayor coeficiente de rozamiento longitudinal al que expone la normativa, pudiendo ser peligroso para el conductor del turismo.

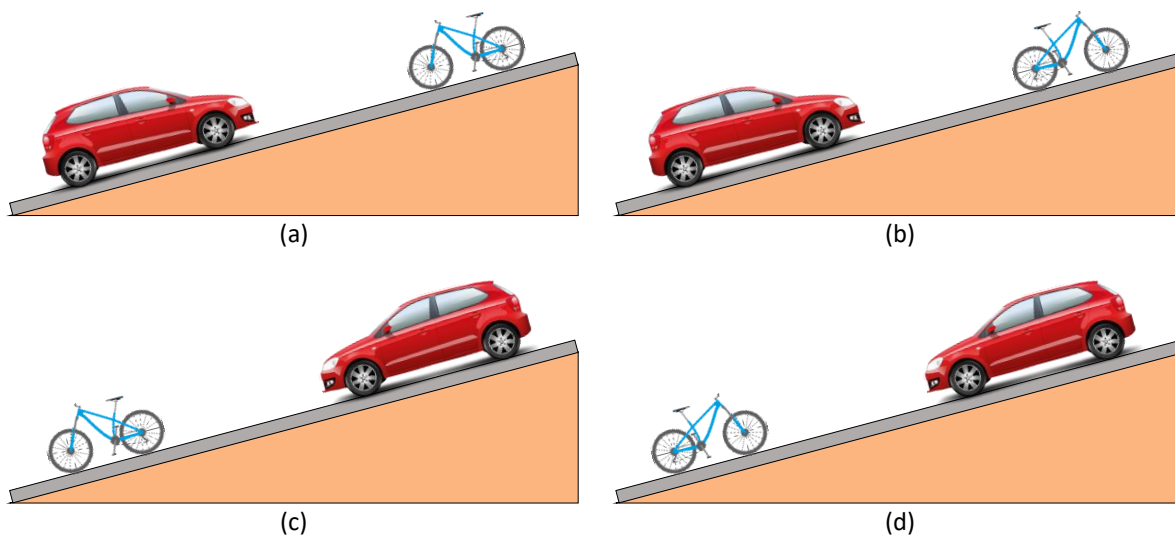


FIGURA 29. POSIBLES ENCUENTROS TURISMO-CICLISTA.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

□ Para reducir el impacto sobre el medio ambiente en la modificación de la traza de la carretera se plantea colocar un muro en el talud en desmonte, cuando se está sobre suelo tolerable. El muro no se ha contabilizado en los cálculos del coste total de estas modificaciones de trazado por la dificultad que representa seleccionar la altura del mismo, si esta altura es constante en todo su recorrido e incluso, si se realiza un muro con bataches, si la altura fuera elevada (muro de escollera superior a los 6 m). Asimismo, no se han representado estos muros en los planos correspondientes.

□ En la OC 37/2016, que recoge la base de precios de la Dirección General de Carreteras, no se incluye el precio de los sistemas de protección para motoristas por separado, por lo que no se ha contabilizado el precio de estos sistemas en los lugares en los que ya están dispuestos sistemas de contención, pero sin estas protecciones.

- Como resultado de una posible modificación del trazado actual, se obtendría un cambio en la longitud del mismo. Por ende, la señalización actual relativa al kilometraje de la vía sería errónea (pudiendo ser este error grande o pequeño, dependiendo del número de modificaciones y de la forma que tuvieran), por ello, sería recomendable realizar tareas de rekilometraje de la vía. Esta acción supone un coste fijo, que no varía en sobremanera si se realiza un gran número de modificaciones del trazado o sólo algunas de estas modificaciones.
- El análisis de las afecciones que presenta el pavimento actual es propio de un estudio que tenga el propósito de mantener y alargar la vida útil de la actual carretera. A pesar de eso, un buen estado del firme ayuda a conseguir una conducción cómoda de la vía, por lo que se mejora la seguridad vial del tramo. Por este motivo, este estudio sería recomendable también en un estudio para la mejora de la seguridad vial, como es el caso de este estudio. Sin embargo, estos análisis pueden ser complejos y su eficacia depende fuertemente de la experiencia del proyectista, ya que ciertas afecciones tienen similitud entre sí, pero las causas y acciones para corregirlas son distintas. Debido al gran número de afecciones que podría presentar el tramo estudiado y al alcance del presente TFG, el estudio de las afecciones que presenta el firme no se ha realizado.
- En el Anexo 5, de Geología y Geotecnia, se exponen algunos ejemplos de muros agrícolas que serían susceptibles de recibir una reparación o reconstrucción debido a que pueden presentar un peligro para la vía, por desprendimientos. Asimismo, hay ciertos bloques en los taludes sobre roca, que son sensiblemente verticales, que sería conveniente retirar para evitar que, finalmente, caigan sobre el firme. El estudio de estos dos aspectos no se ha llevado a cabo por la profundidad que requieren.
- Debido a que se ha decidido no realizar actuaciones que supongan un cambio del trazado de la vía y, en consecuencia, el diseño de un firme nuevo, no se han realizado los planos de la sección tipo de la vía, ni los planos en alzado. En su lugar, se recoge en este mismo documento el diseño de este firme (ver Figura 28) y en el Anexo 4: Firmes y pavimentos.
- En la vía existen ciertas zonas con obstáculos en las cunetas que podrían generar un peligro si un vehículo impactase contra ellos tras salir del firme. Cuando dichos obstáculos se corresponden con conducciones de agua (ver Figura 30), es conveniente proteger los salientes de estas zonas para suavizar la superficie que genera la presencia del obstáculo.



FIGURA 30. CUNETA A PROTEGER, P.K. 23+000 Y PROTECCIÓN TIPO.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

- Finalmente, existen grandes pendientes que culminan en una curva cerrada, por lo que los usuarios de la vía tienen un riesgo considerable de caer por el desnivel, siendo este, en ocasiones, pronunciado, como en las zonas que son colindantes con el Barranco de Gátova. Para los turismos, se mitiga el riesgo instalando barreras de seguridad. En cambio, para los ciclistas que transitan la zona este riesgo no desaparece, puesto que, si impactan contra el sistema de contención a una gran velocidad,

debido a las acusadas pendientes, podrían, o bien pasar por debajo de la barrera, por lo que podrían sufrir daños por la presencia de los perfiles metálicos que sustentan la barrera, o bien salir despedidos por encima de la misma, y sufrir una caída de, incluso, 20 o 30 m, con consecuencias similares o peores de las que sufrirían si no existiera esta barrera. Para evitar que los ciclistas caigan y pasen por debajo de la barrera, puede colocarse un sistema de protección para motoristas, de esta forma los usuarios que transitan en motocicleta también estuvieran protegidos. Para evitar que los ciclistas sean despedidos por encima de la barrera, puede instalarse una malla de triple torsión por detrás del sistema de contención, para que los ciclistas impacten contra ella (esta propuesta fue una sugerencia del Prof. Campoy Ungría). De este modo, los ciclistas estarían protegidos frente a ciertos desniveles de la naturaleza ya explicada (ver Figura 30). Este párrafo pone de manifiesto el riesgo que los sistemas de contención suponen para la seguridad vial, como se recoge en la propia Orden Circular 35/2014, que regula su uso “*Las barreras de seguridad (...) no evitan que el accidente se produzca, ni están exentas de algún tipo de riesgo para los ocupantes del vehículo*” (Ministerio de Fomento, 2014).

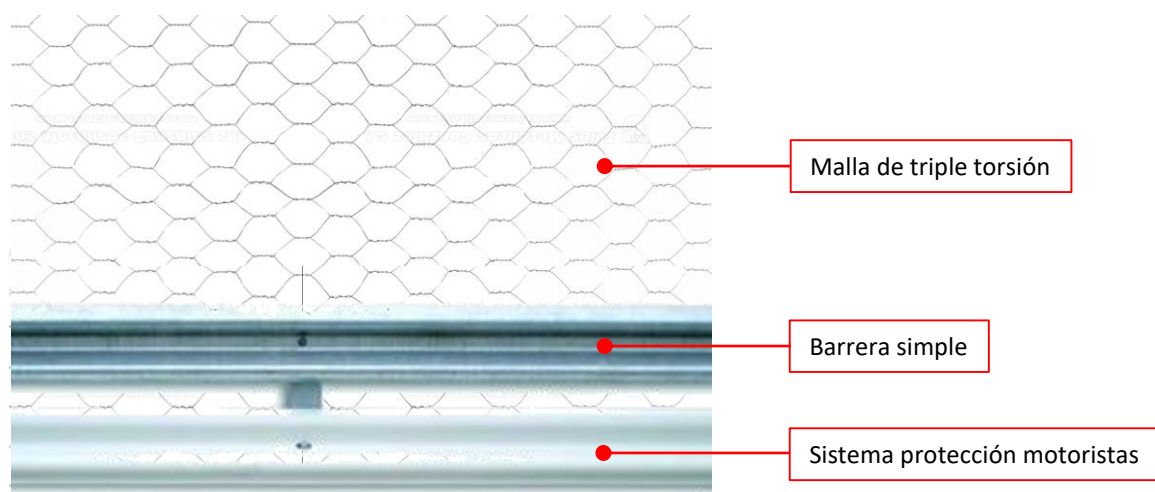


FIGURA 31. PROTECCIÓN PARA CICLISTAS.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018.

8 CONCLUSIONES DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

En este Estudio para la Mejora de la Seguridad Vial se proponen actuaciones para asegurar una conducción más cómoda y segura del tramo objeto de estudio, respetando el medio ambiente y asegurando un coste coherente. No ha sido posible ajustar la traza de la vía para que cumpla con la Norma de Trazado vigente, por las limitaciones expuestas de normativa medioambiental y usos del suelo. Independientemente de eso, al realizar actuaciones puntuales se asegura que las actuaciones son necesarias en los puntos a mejorar, que la realización de las mismas no entorpecerá en sobremanera al tráfico y que los usuarios de la vía percibirán y asimilarán estos cambios de una manera rápida.

Del presente Trabajo de Fin de Grado (TFG), consistente en un Estudio para la Mejora de la Seguridad Vial, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

Existe una gran dificultad en determinar los criterios por los cuales un elemento del trazado presenta problemas de seguridad vial. En este Estudio, el criterio que aporta unos resultados concluyentes es el de Lamm II, ya que el resto de los criterios determina que gran parte de los elementos deben modificarse, al contrario que el mencionado. Aparte, también es costoso seleccionar el modelo predictivo de la velocidad de operación adecuado para cada caso. Como se ha expuesto en este Estudio, hay un gran número de modelos que pueden emplearse para determinar la velocidad de operación, y unos criterios por los cuales algunos son más adecuados que otros. Independientemente de eso, el modelo del IHSDM es el que aporta unos resultados más adecuados en este caso.

En el planteamiento del análisis multicriterio, para determinar la solución óptima, pueden emplearse un gran número de criterios distintos. Para ponderar esos criterios, debe haber un equilibrio entre la exactitud de su cálculo y la importancia que tienen en el estudio. De esta manera, la “mejora de la seguridad vial” es un criterio de gran relevancia en este estudio, pero su cálculo se ha realizado mediante modelos obtenidos por distintos autores con estudios de casos reales (*Crash Modification Factors*), por lo que no dejan de ser resultados teóricos, y no se puede asegurar que el resultado obtenido sea muy similar a la realidad. Consecuentemente, la ponderación de este criterio no es tan alta como si sólo se tuviera en cuenta su importancia en el estudio.

Hay un gran número de condiciones de contorno o limitaciones en el planteo de mejoras en ciertos puntos de la vía, por motivos de uso del suelo, entre otros. De este modo, aunque una buena solución sea la de implantar sistemas de contención, no puede hacerse si en ese emplazamiento existe un acceso a una propiedad privada, ya sea una vivienda o un campo de cultivo. Consecuentemente, la dificultad de mejorar una carretera existente es alta si se tiene un número importante de limitaciones, como en este caso, en el cual la limitación del medio ambiente tiene un gran peso. Por ello, cuando se proyectan vías de nuevo trazado o planta, debe asegurarse que la consistencia de todos sus elementos sea correcta, para evitar problemas posteriores.

Por parte del alumno, se ha observado la importancia de una correcta planificación inicial a la hora de realizar cualquier tipo de proyecto o estudio en la profesión de la Ingeniería Civil. Sin esta planificación inicial, consistente en un programa de trabajos y un índice del proyecto o estudio, a modo de lista de tareas a realizar, todo el proceso de redacción sería mucho más costoso y con unos resultados de una calidad inferior a los que se tendría si se dispusiera de esta planificación. Independientemente de eso, en ocasiones se desechan ideas iniciales y se añaden aspectos al estudio que no se tuvieron en cuenta en un primer momento. Esto último, remarca la idea de que la experiencia es un factor muy importante en el momento de realizar una correcta planificación. Si no se dispone de ella, como en el caso de la redacción de este Estudio, se puede revisar gran cantidad de bibliografía relativa a estos temas o, incluso, proyectos realizados por otros autores más experimentados y de temática similar.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camacho Torregrosa, F. J. (2015). Development and Calibration of a Global Geometric Design Consistency Model for Two-Lane Rural Highways, Based on the Use of Continuous Operating Speed Profiles. Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain). Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/48543>
- Choi, Y. Y., Kho, S. Y., Lee, C., & Kim, D. K. (2015). Development of Crash Modification factors of Alignment Elements and Safety Countermeasures for Korean Freeways. Transportation Research Board 94th Annual Meeting (No. 15-0503).
- CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROAMÉRICA. (2002). M5.1. Catálogo de deterioros de pavimentos rígidos. Colección de documentos. Volumen no 11. Recuperado de <http://dircaibea.org/sites/all/themes/dircaibea/images/vol11.pdf>
- Conselleria de Vivienda, O. P. y V. del T. (2018). Seguridad vial - Generalitat Valenciana. Recuperado 11 de abril de 2018, de http://www.habitatge.gva.es/es/web/carreteras/seguridad-vial-car/-/documentos/GrKHCDUYqhQ0/folder/162898861?p_auth=i5ZLP66H
- Conselleria Territori i Habitatge. Generalitat Valenciana. DECRETO 77/2001, de 2 de abril, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Sierra Calderona. [2001/3327] (2001). Recuperado de <http://www.cma.gva.es/admon/normativa/legislacion/legis/PORNCalderona.htm>
- Conselleria Territori i Habitatge. Generalitat Valenciana. DECRETO 46/2006, de 31 de marzo, del Consell de la Generalitat, por el que se aprueba el Plan Rector de Uso y Gestion del Parque Natural de la Sierra Calderona. [2006/3832] (2006). Recuperado de http://www.dogv.gva.es/datos/2006/04/04/pdf/2006_3832.pdf
- Corts Valencianes. Proposición no de ley sobre el mantenimiento y la mejora de la vía CV-25, entre Olocau y el término municipal de Altura, presentada por el Grupo Parlamentario Ciudadanos (2015). BOCV 32/IX de fecha 11/11/2015. Recuperado de http://www.cortsvalencianes.es/BASIS/CGI/BASIS/BOCV/WEB/BOCV_INS_C/DDW?W=CLAVE_INSERTION=188414596632802
- Dirección General de Tráfico. (2016). Series históricas parque de vehículos. Recuperado de <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/series-historicas/>
- Federal Highway Administration (FHWA). (2018). Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) (Versión 13.1.0) [Programa de ordenador]. Recuperado de <http://www.ihsdm.org/wiki/Welcome>
- Franklin, J. A., Broch, E., & Walton, G. (1971). Logging the Mechanical Character of Rock. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 80(A), 1-9.
- García-Fayos, P. (1991). La vegetación silicícola de la Sierra Calderona (Comunidad Valenciana), 332, 317-332.
- Generalitat Valenciana. (2006). Parc Natural de la Serra Calderona, 15. Recuperado de http://www.parquesnaturales.gva.es/documents/80306025/0/Guía+Serra_Gelada+CASTELLANO.pdf/752285de-0380-485c-85d4-af7013d34fa3
- Generalitat Valenciana. Conselleria de Vivienda, O. P. y V. del T. (2014). Aforos: Memoria anual 2014. Anexo II - Fichas de caracterización. Recuperado 20 de mayo de 2018, de <http://www.habitatge.gva.es/documents/20088661/161578533/Anexo+II+-+Fichas+de+caracterización/2ce54bf8-d87f-439c-be1e-2fed7b035c21>
- Generalitat Valenciana. Conselleria de Vivienda, O. P. y V. del T. (2017). Aforos: Memorias anuales. Recuperado 20 de mayo de 2018, de <http://www.habitatge.gva.es/es/web/carreteras/aforos->

car/informes-anuales-car

- Gobierno de España. PG-3, Artículo 542: Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso (2014). España: Boletín Oficial del Estado (BOE). Recuperado de http://www.carreteros.org/normativa/pg3/ordenes/ministeriales/fom2523_2014/542.pdf
- Google. (2018). Google Earth Pro [Programa de ordenador]. Recuperado de <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- Goy, J. L., Gutiérrez, M., Pedraza, J., Vegas, R., & Zazo, C. (1972). Mapa geológico de la Hoja n.º 668 (Sagunto). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie (MAGNA). Recuperado de <http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/magna50/memorias/MMagna0668.pdf>
- Institut Cartogràfic Valencià. (2018). Visor cartogràfic de la Generalitat. Recuperado de <https://visor.gva.es/visor/>
- Jiménez Salas, J. A. (1980). Geotecnia y cimientos. Vol. 3, Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la geotecnia. Vol. 3-1. BOOK, Madrid: Rueda, D.L. 1980.
- Jiménez Salas, J. A. (1981). Geotecnia y cimientos. Vol. 2, Mecánica del suelo y de las rocas. (J. L. de Justo Alpañes & A. Serrano González, Eds.) (2a ed.). BOOK, Madrid: Rueda, 1981.
- Jimenez Salas, J. A., & De Justo Alpañes, J. L. (1975). GEOTECNIA Y CIMIENTOS 1 Propiedades de los suelos y de las rocas. (J. L. de Justo Alpañes, Ed.) (2a ed.). BOOK, Madrid: Rueda, D.L. 1975.
- Kay Fitzpatrick, Lily Elefteriadou, Douglas W. Harwood, Jon M. Collins, John McFadden, Ingrid B. Anderson, ... Karl Passetti. (2000). Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways. Recuperado de <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/ihsdm/99171/99171.pdf>
- Kraemer, C., Sánchez Blanco, V., Val, M. A. del, Rocci, S., Romana, M. G., & Pardillo, J. M. (2009). Ingeniería de carreteras. Volumen I (2a ed.). BOOK, Madrid: McGraw-Hill, D.L. 2003.
- Lazuen Alcón, F. J., & Roldán Torres, R. (1974). Mapa geológico de la Hoja n.º 667 (Villar del Arzobispo). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie (MAGNA). IGME. Recuperado de <http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/magna50/memorias/MMagna0667.pdf>
- McGee W, H., & Hanscom R, F. (2016). Low-Cost Treatments for Horizontal Curve Safety, 66p. Recuperado de http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/horcurves/fhwas07002/%5Cnhttp://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/horcurves/fhwas07002/fhwas07002.pdf%5Cnhttps://trid.trb.org/view/807193
- Ministerio de Fomento. Recomendaciones para el diseño y construcción de muros de escollera en obras de carreteras (1998). BOOK, Gobierno de España.
- Ministerio de Fomento. Instrucción de Carreteras. Norma 8.1-IC: Señalización Vertical (2000). BOOK, Gobierno de España. Recuperado de <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/19510AD2-CB0E-4637-8241-B60819E6DA94/106012/Señalizavertical.pdf>
- Ministerio de Fomento. Instrucción de carreteras. Norma 6.1-IC: Secciones de firmes (2003). Gobierno de España. Recuperado de http://www.carreteros.org/normativa/firmes/6_1ic/pdfs/6_1fomento
- Ministerio de Fomento. Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera (2006). BOOK, Gobierno de España: Ministerio de Fomento, 2006.
- Ministerio de Fomento. Orden FOM/3317/2010, de 17 de diciembre, por la que se aprueba la Instrucción sobre las medidas específicas para la mejora de la eficiencia en la ejecución de las obras públicas de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos, 311 § (2010). Gobierno de España:

- Boletín Oficial del Estado (BOE). Recuperado de http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/1EA C7A82-1FBE-4A9E-907E-4BCE4C255EC4/112654/ORDEN_FOM33172010.pdf
- Ministerio de Fomento. Orden Circular 35/2014 Sobre Criterios De Aplicación De Sistemas De Contención De Vehículos (2014). Gobierno de España. Recuperado de <https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/11AFD57B-6604-4E4D-8F1E-D4535CB18249/124764/OC352014.pdf>
- Ministerio de Fomento. Norma 3.1-IC Trazado (2016). Gobierno de España. Recuperado de https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/7CD3E7-850A-4A9C-813D-B87FAEDE1A7A/136019/Norma_31IC_Trazado_ORDEN_FOM_273_2016.pdf
- Ministerio de Fomento. Orden circular 37/2016. Base de precios de referencia de la dirección general de carreteras. (2016). Gobierno de España: Boletín Oficial del Estado (BOE).
- Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Instrucción de Carreteras. Norma 8.2-IC: Marcas viales (1987). Gobierno de España.
- Organización Mundial de la Salud. (2015). Informe Sobre La Situación Mundial De La Seguridad Vial 2015. Ginebra, Suiza, 16.
- Pérez Zuriaga, A. M. (2012). Caracterización Y Modelización De La Velocidad De Operación En Carreteras Convencionales a Partir De La Observación Naturalística De La Evolución De Vehículos Ligeros. Riunet. Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain). Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/16701>
- Pérez Zuriaga, A. M., Camacho Torregrosa, F. J., & García Garcia, A. (2011). La velocidad de operación y su aplicación en el análisis de la consistencia de carreteras para la mejora de la seguridad vial. Cuaderno Tecnológico de la PTC, 6, 64.
- Raghavan, S., Baek, J., Carter, D., Persaud, B., & Lyon, C. (2009). Safety evaluation on curve delineation improvement. Annual Meeting of the Transportation Research Board, (FHWA-HRT-09-046), 8p. Recuperado de <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/09046/index.cfm>
<http://ntl.bts.gov/lib/31000/31000/31087/FHWA-HRT-09-046.pdf>
<https://trid.trb.org/view/900369>
- Sahuquillo Dobón, R. (2018). La SIERRA CALDERONA. Un parque natural. Recuperado 16 de mayo de 2018, de <http://www.upv.es/~csahuqui/>
- Tool S.A. (2018). Clip (Versión 1.29.130.439) [Programa de ordenador]. Recuperado de <http://www.toolsa.es/web/Clip.html>
- Transportation Research Board. (2000). Highway Capacity Manual. Environmental Protection. Washington.
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, & University of North Carolina Highway. (2018). Crash Modification Factors Clearinghouse. Recuperado de <http://www.cmfclearinghouse.org/>
- Zegeer, Reinfurt, D. W., Hunter, W. W., Hummer, J., Stewart, R., & Herf, L. (1988). Accident Effects of Sideslope and Other Roadside Features on Two-Lane Roads. Transportation Research Record 1195, (8), 33-47.
- Zegeer, C. V, Reinfurt, D. W., Hummer, J., Herf, L., & Hunter, W. (1988). Safety Effects of Cross-Section Design for Two-Lane Roads. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2(1195), 20-32. Recuperado de http://scholar.google.com/scholar_lookup?title=SAFETY+EFFECTS+OF+CROSS-SECTION+DESIGN+FOR+TWO-LANE+ROADS&author=C.+Zegeer&author=D.+Reinfurt&author=J.+Hummer&author=L.+Herf&author=W.+Hunter&publication_year=1988
<https://trid.trb.org/view/302144>