



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



ESTUDIO DEL TRAZADO Y PROPUESTA DE ADECUACIÓN DE LA
CARRETERA N-340, ENTRE EL PK 833+000 (T.M. DE BELLÚS) Y EL PK
838+600 (T.M. DE XÀTIVA), EN LA PROVINCIA DE VALENCIA.

TRABAJO FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería de Obras Públicas

AUTOR:

ANTONI PRATS CERVERÓ

TUTOR:

FRANCISCO JAVIER CAMACHO TORREGROSA

VALENCIA, SEPTIEMBRE 2017

CURSO: 2016-2017

CONTENIDO GENERAL

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA

ANEJO 1: ESTUDIO DE TRÁFICO

ANEJO 2: GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

ANEJO 3: ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

ANEJO 4: PROPUESTA DE TRAZADO

ANEJO 5: DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME

DOCUMENTO N ° 2: PLANOS

DOCUMENTO N.º 3: RELACIÓN VALORADA



DOCUMENTO Nº 1:
MEMORIA

Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Autor: *Antoni Prats Cerveró*

Tutor: *Francisco Javier Camacho Torregrosa*

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	5
2. OBJETO	5
3. LOCALIZACIÓN	5
4. ANÁLISIS DEL TRÁFICO	5
5. GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA	7
6. ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	8
6.1. SEGURIDAD NOMINAL.....	8
6.1.1. <i>Trazado en planta</i>	8
6.1.2. <i>Trazado en alzado</i>	10
6.1.3. <i>Sección transversal</i>	11
6.2. SEGURIDAD SUSTANTIVA.....	11
6.2.1. <i>Criterios Locales</i>	11
6.2.2. <i>Criterios Globales</i>	12
6.2.3. <i>Accidentalidad</i>	12
6.3. CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS.....	12
7. PROPUESTA DE ADECUACIÓN	13
7.1. CRITERIOS DE DISEÑO.....	13
7.2. ALINEACIÓN PRINCIPAL.....	13
7.3. GLORIETA.....	13
7.4. ALINEACIONES ESTE Y OESTE.....	13
7.5. MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	14
7.6. SEGURIDAD VIAL.....	14
7.7. CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS.....	15
8. FIRMES	15
8.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA EXPLANADA.....	15
8.2. DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME.....	16
8.2.1. <i>Mezclas bituminosas</i>	17
8.2.2. <i>Ligante bituminoso</i>	17
8.2.3. <i>Riegos</i>	17
8.2.4. <i>Aprovechamiento del firme existente</i>	17
9. CONCLUSIONES	17

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aforo sentido creciente de los PKs.....	6
Tabla 2. Aforo sentido decreciente de los PKs.....	6
Tabla 3. Longitudes límite en rectas.....	9
Tabla 4. Análisis de las rectas.....	9
Tabla 5. Radio mínimo curvas circulares.....	9
Tabla 6. Análisis Radio mínimo en curvas circulares.....	9
Tabla 7. Análisis clotoides.....	9
Tabla 8. Relación entre radios de curvas circulares consecutivas sin recta intermedia o con recta de longitud limitada.....	9
Tabla 9. Análisis de radios consecutivos para curvas circulares sin recta intermedia o recta de longitud limitada.....	9
Tabla 10. Valores máximos inclinación rasante.....	10
Tabla 11. Longitudes máximas y mínimas.....	10
Tabla 12. Parámetros mínimos acuerdos verticales.....	10
Tabla 13. Análisis coordinación planta alzado mediante relación kv/R.....	10
Tabla 14. Umbrales de consistencia Criterio II de Lamm.....	11
Tabla 15. Umbrales de consistencia criterio global.....	12
Tabla 16. Valoración de la consistencia global.....	12
Tabla 17. Estimación accidentalidad.....	12

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización y emplazamiento.....	5
Ilustración 2. Proporción de vehículos ligeros y pesados.....	6
Ilustración 3. Detalle del tramo de la carretera afín.....	6
Ilustración 4. Hoja Magna 795.....	7
Ilustración 5. Detalle de talud en desmonte PK 835+000.....	7
Ilustración 6. Hoja Magna 745. Localización Estudio geotécnico.....	8
Ilustración 7. Criterio II Lamm sentido creciente de los PKS.....	11
Ilustración 8. Criterio II Lamm sentido decreciente de los PKS.....	12
Ilustración 9. Criterio II Lamm sentido creciente de los PKS.....	14
Ilustración 10. Criterio II Lamm sentido decreciente de los PKS.....	14

1. Antecedentes

La carretera nacional N-340 a su paso por los puntos kilométricos 833+000 y 838+600 presenta un trazado sinuoso compuesto por curvas consecutivas de radio reducido, unidas en algunos puntos a rectas de mayor longitud con las que forman ángulos cercanos a los 90 grados, ocasionando inconsistencias que disminuyen la seguridad en la circulación.

La sección transversal carece de arcenes y, en la mayor parte del trazado se encuentra delimitada por barreras de hormigón. La localización de una cantera en el punto kilométrico (PK) 835+600 genera la circulación de una intensidad de vehículos pesados elevada, con lo que el continuo cruce de vehículos de estas dimensiones puede ocasionar situaciones de peligro.

Estos factores provocan la necesidad del desarrollo de los análisis contenidos en este trabajo académico.

2. Objeto

El objetivo de este estudio es el análisis de la Seguridad Vial del trazado de la N-340, con la finalidad de encontrar deficiencias que aumenten la probabilidad de accidente durante la circulación. En cuyo caso serán corregidas a través del diseño de una propuesta de trazado.

El estudio de la seguridad vial se realizará desde el punto de vista de la seguridad vial Nominal y Sustantiva.

La primera analiza en qué grado la carretera existente cumple las especificaciones establecidas por la normativa vigente en materia de carreteras.

En términos de trazado, la normativa de aplicación para carreteras nacionales es la Norma 3.1 de la Instrucción de Carreteras del Ministerio de Fomento.

La seguridad Sustantiva tiene en cuenta la interacción conductor, vehículo e infraestructura como los principales factores que intervienen en un accidente de tráfico. Y se estudia a través de la Consistencia del Trazado. Entendiéndose ésta como el grado de adecuación del trazado a las expectativas del conductor.

Por tanto, un trazado consistente será aquel en el que el conductor experimente una circulación intuitiva, cómoda, sin variaciones bruscas de velocidad ni "sorpresas".

3. Localización.

El tramo de carretera a estudiar se encuentra en la nacional N-340, entre el PK 833+000 (T.M de Bellús) y el PK 838+600 (T.M. de Xàtiva)

Bordea la población de Bellús, en el PK 833+000, y dista 5 km del municipio de Xàtiva en el PK 838+600. Atraviesa las comarcas de La Vall de Albaida y La Costera en la Provincia de Valencia, como se puede apreciar en la ilustración 1.

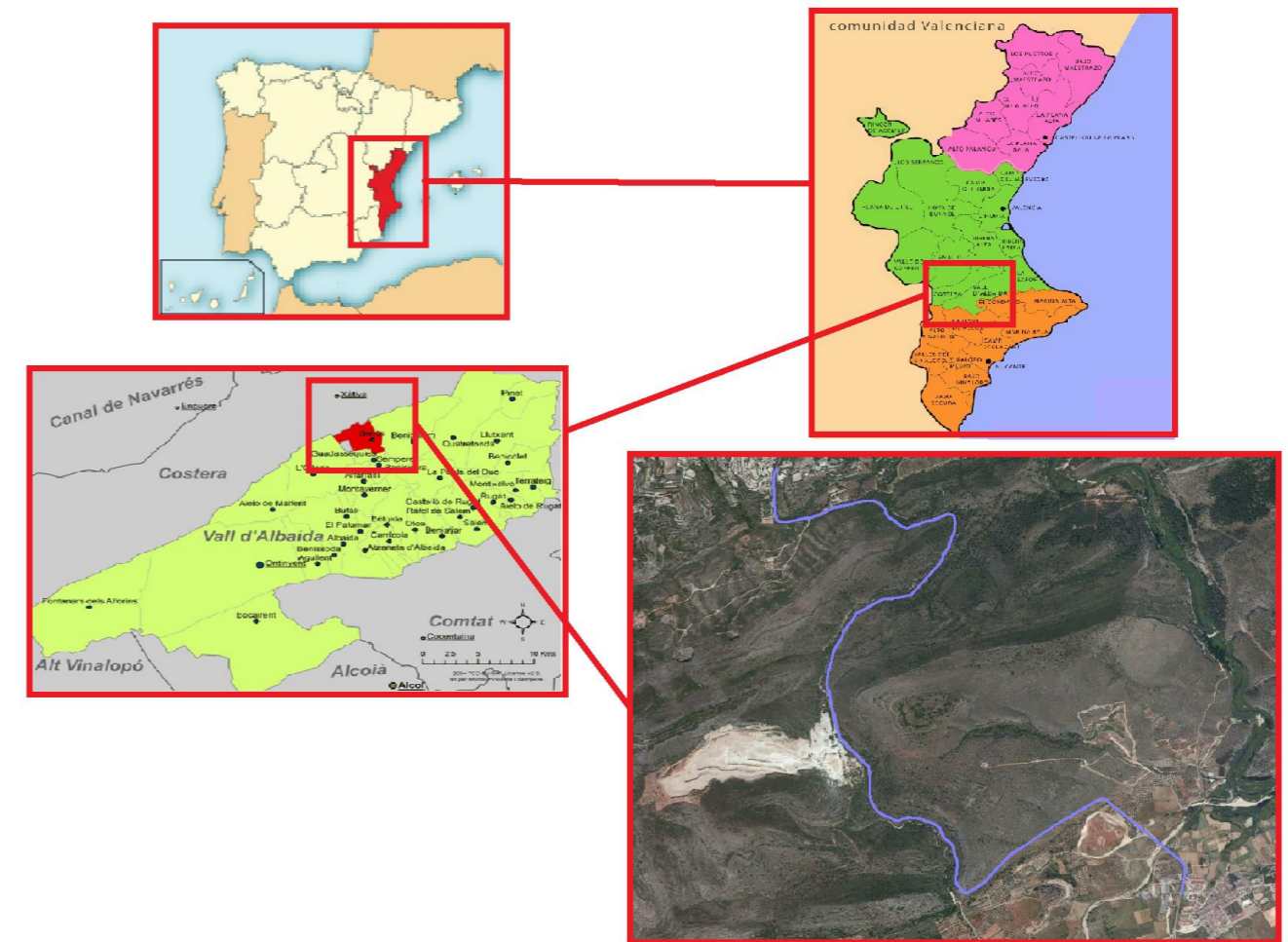


Ilustración 1. Localización y emplazamiento.

4. Análisis del tráfico.

Para la obtención de la Intensidad Media Diaria (IMD) se han utilizado los datos procedentes de un aforo manual de cobertura de 2 horas de duración, realizado en el mes de noviembre (2017), y los datos de aforo de la carretera afín CV-610.

El aforo, de 2 horas de duración, se realizó de las 7:00 a las 9:00 horas, intervalo horario coincidente con el comienzo de la jornada laboral. Y fue llevado a cabo a la altura de la cantera (PK 835+600), de manera que se pudiera apreciar la influencia de ésta en el tránsito de vehículos pesados.

Los datos obtenidos se recogen en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Aforo sentido creciente de los PKs

Intervalo Horario		Vehículos ligeros			Vehículos pesados		
Inicio	Fin	Entra en Cantera	Pasa	Sale de Cantera	Entra en Cantera	Pasa	Sale de Cantera
7:00	7:15	2	1	0	1	0	1
7:15	7:30	0	3	0	0	0	4
7:30	7:45	0	7	0	2	0	3
7:45	8:00	0	7	0	0	0	3
8:00	8:15	0	2	0	0	1	1
8:15	8:30	0	7	0	0	0	0
8:30	8:45	0	4	0	0	2	2
8:45	9:00	0	4	0	0	0	0
Total (vh)		2	35	0	3	3	14

Tabla 2. Aforo sentido decreciente de los PKs

Intervalo Horario		Vehículos ligeros			Vehículos pesados		
Inicio	Fin	Entra en Cantera	Pasa	Sale de Cantera	Entra en Cantera	Pasa	Sale de Cantera
7:00	7:15	0	0	0	3	0	0
7:15	7:30	0	0	0	3	0	0
7:30	7:45	0	9	0	1	0	1
7:45	8:00	0	10	0	1	0	1
8:00	8:15	0	7	0	1	0	1
8:15	8:30	0	10	0	1	0	0
8:30	8:45	0	1	0	1	0	0
8:45	9:00	0	9	1	1	0	0
Total (vh)		0	46	1	12	0	3

El tráfico en ambos sentidos de circulación es equilibrado y no se observó la circulación de motocicletas, ni ciclistas.

Se ha revelado una proporción significativa de vehículos pesados respecto del total, como queda reflejado en la ilustración 2.

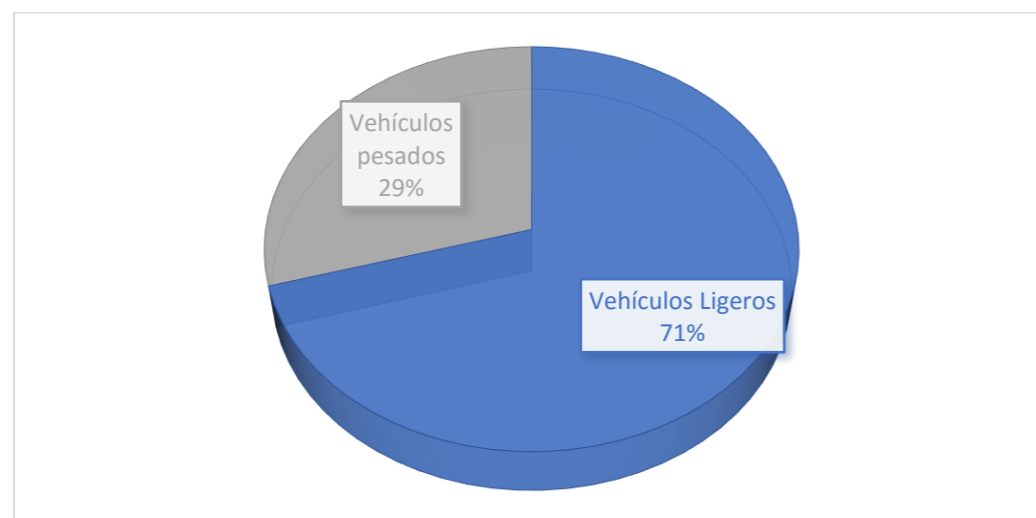


Ilustración 2. Proporción de vehículos ligeros y pesados.

El aforo anterior se ha completado con datos de la carretera afín CV-610, carretera cuya cercanía se asocia a un comportamiento similar del tráfico.



Ilustración 3. Detalle del tramo de la carretera afín

Los datos han sido extraídos del Anexo II *Fichas de caracterización* del 2014, de la web de la Generalitat Valenciana, a través de los cuales se ha podido obtener los siguientes valores para la obtención de la IMD:

Intensidad laborable 24 horas del mes de Noviembre ($I_{24,1,Nov2017}^{N-340}$): **940 vh/día**

Factor de estacionalidad del mes de noviembre (Lnov.): **0.9929**

Factor de festivos del mes de noviembre (Snov.): **0.9339**

Resultando una IMD de:

$$IMD_{2017}^{N-340} = Lnov * Snov * I_{24,1,Nov2017}^{N-340} = 872 \text{ vh/día}$$

- El nivel de servicio se ha estimado mediante el Manual de Capacidad del Transportation Research Board de los Estado Unidos de América (HCM 2010). Teniéndose en cuenta los siguientes aspectos:
- Se considera una carretera rural interurbana. Por tanto, se adoptará para el cálculo del nivel de servicio un porcentaje del 10,5 % de la IMD correspondiente a la hora de proyecto 30, siendo ésta la mínima permitida por la Norma 3.1-IC. La Intensidad horaria de Proyecto (IHP) resultante será de **92 v/h**.
- Al tratarse de un tramo que atraviesa una zona montañosa, la sinuosidad del trazado unido a una sección transversal compuesta únicamente por dos carriles coartados por barreras de hormigón, los usuarios no esperan viajar a velocidades elevadas. Por tanto, se define como carretera de **clase II**.
- El Factor de Hora Punta (FHP) es de 0.9, por ser una carretera rural.
- No se consideran vehículos recreativos

- El porcentaje de tiempo en cola (PTSF_d) es de 31,94% en ambos sentidos de circulación, que se corresponde con un Nivel de Servicio A.

El desarrollo de una propuesta de adecuación hace necesario analizar cómo evolucionará el tráfico en un futuro. Para ello, se ha calculado el nivel de servicio para el año horizonte, considerándose año horizonte 20 años tras la puesta en servicio de la carretera.

Para calcular la IMD en el año 2037 se utilizan los factores de crecimiento facilitados por el Ministerio de Fomento en el Boletín Oficial del Estado <<Instrucción sobre las medidas específicas para la mejora de la eficiencia en la ejecución de obras de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos>>. Resultando:

$$IMD_{2037}^{N-340} = 872 * 1.0144^{20} = 1161 \text{ vh/día}$$

En este caso, para una IHP de 122 vh/h se obtiene un porcentaje de tiempo en cola de 33,99 % y, por tanto, un nivel de servicio A.

La evolución del tráfico no es considerable y el nivel de servicio no varía. Un nivel de servicio A se asocia a una circulación libre y fluida. De esto se extrae que la carretera existente no tiene problemas de capacidad.

Se cumple la especificación de la norma 3.1 IC en su epígrafe 7.3 *Sección Transversal En Planta* que establece un nivel de servicio mínimo, para una carretera convencional de 40 o 50 km/h de Velocidad de Proyecto (Vp), E.

5. Geología y Geotécnia.

La hoja Magna 795 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) contiene la zona sobre la que transcurre el tramo de la N-340 a estudiar. Como refleja la ilustración 4, la traza de la carretera se divide en tres zonas geológicamente distintas:

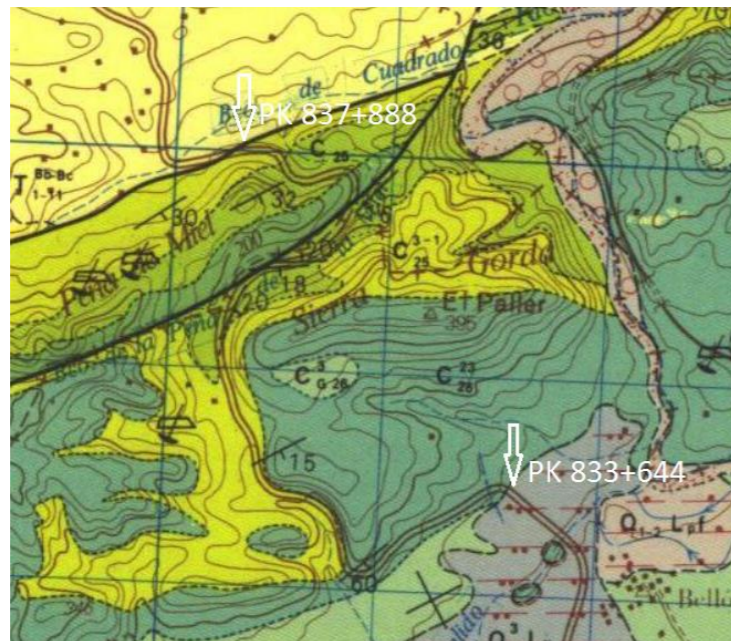


Ilustración 4. Hoja Magna 795.

- Zona 1: compuesta por Limos de vertiente y limos rosados carbonatados con cantos angulosos que abarca la primera parte de la carretera, del PK 833+000 hasta el PK 833+644.
- Zona 2: de 4.244 metros, ocupa la mayor parte del trazado de la carretera, finaliza en el PK 837+888. Se constituye de calizas masivas y calizas con contenidos variables de minerales como cuarzo, dolomita, arena y arcilla.
- Zona 3: finaliza en el PK 838+600, está formada por margas, facies TAP.

Durante la visita de campo se ha podido constatar la calidad de la caliza a través de la inspección de los taludes por desmorte que presente la carretera existente como se puede apreciar en la ilustración 5.



Ilustración 5. Detalle de talud en desmorte PK 835+000.

De la geología que presenta la zona hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Las margas facies Tap es un material pulverulento que generalmente se suele estabilizar con cal en los proyectos de carreteras para hacerlo más competente.
- En presencia de agua los limos se colapsan, reordenándose sus partículas y produciéndose colapsos. Será, por tanto, necesario someter los fondos del estrato a un proceso de preconsolidación y compactación vibratoria.
- La calidad de la roca caliza permite la ejecución de taludes verticales. Este hecho favorece el establecimiento en el proceso de diseño de la propuesta de adecuación del desmorte frente al terraplén. Ya que disminuye el movimiento de tierras necesario.

A través de las especificaciones de la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02) del Ministerio de Fomento, se ha calculado la Aceleración Sísmica de Cálculo (a_c), como medida que informa de la aceleración que sufre la superficie del suelo cuando se produce un terremoto. Se ha obtenido un valor de 0.112g.

Al tratarse de un trabajo académico, no se han extraído muestras de la traza de la carretera para ser ensayadas y obtener información acerca de la geotecnia que presenta. Sin embargo, se ha encontrado un estudio geotécnico realizado a 5 km sobre la traza de la propia N-340, en el PK 828+000, sobre la población de Alfarrasí. El estudio ha sido confeccionado por la empresa GEOSCAN Geología Aplicada, S.L. a petición del Ayuntamiento de Alfarrasí, y se encuentra a disposición pública en la web del ayuntamiento.

Se ha podido hacer uso de este estudio geotécnico puesto que, como se observa en la ilustración 6, la naturaleza geológica del terreno sobre el cual se ha realizado el estudio coincide con la del tramo 3. Ambas zonas, se encuentran constituidas por un estrato de margas facies TAP. Y, por tanto, se ha decidido estimar que los materiales que se depositan en la zona geológica 3 son los mismos que se han analizado en el estudio geotécnico.

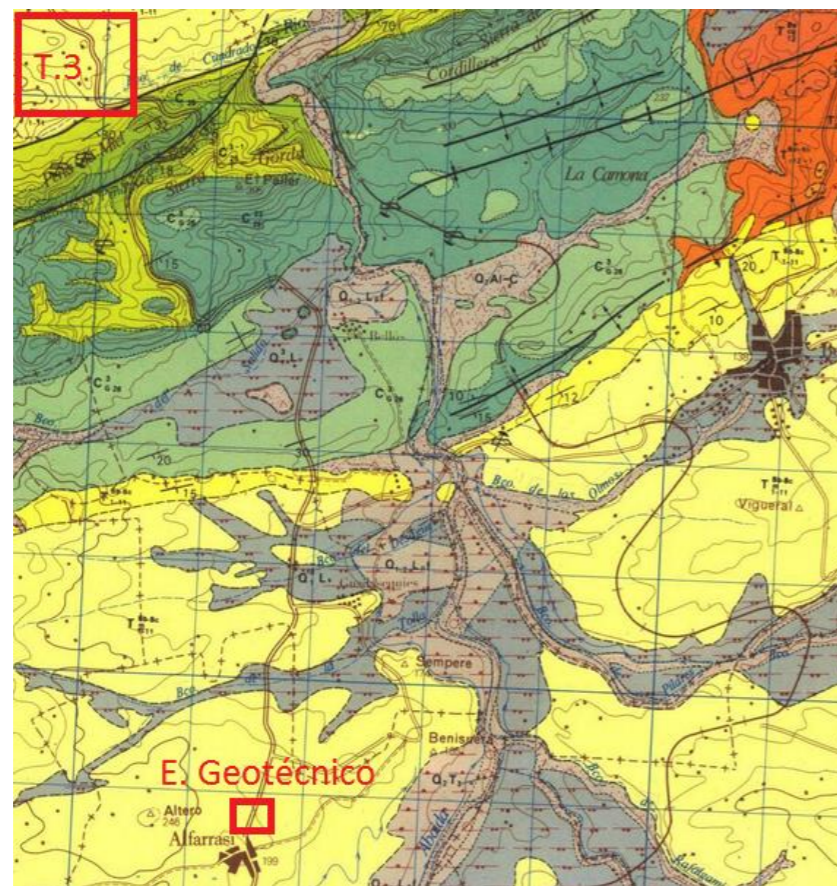


Ilustración 6. Hoja Magna 745. Localización Estudio geotécnico.

El estudio geotécnico consta de tres calicatas:

- **Calicata 1.** Suelo arcilloso con fracción arenosa. Clasificado como tolerable según el artículo 330 del PG-3.
- **Calicata 2.** Suelo arcilloso con fracción arenosa. Clasificado como tolerable según el artículo 330 del PG-3.
- **Calicata 3.** Compuesta por gravas mal graduadas con matriz arcillosa de baja plasticidad. Clasificado como suelo seleccionado según el artículo 330 del PG-3.

En el Anejo 2 Geología y Geotecnia se muestra una memoria con los resultados de los ensayos realizados sobre las calicatas. Y en el Apéndice 1 asociado a dicho anejo se encuentra el estudio geotécnico.

El estudio geotécnico informa que en el tramo de la N-340 que une la población de Bellús con Alfarrasí se encuentran yacimientos naturales de materiales granulares gruesos donde pueden ser extraídos materiales adecuados o seleccionados que brindan la posibilidad de ser utilizados en la ejecución de la explanada.

6. Estudio de la situación actual.

En el siguiente apartado se muestran los resultados del análisis de la seguridad vial de la carretera existente.

A través del software de diseño gráfico AutoCAD Civil 3d, se ha restituído el tramo objeto de estudio y se ha obtenido los parámetros geométricos necesarios para su estudio.

El estado de alineaciones de la restitución de la carretera existente se encuentra en el Apéndice 1 del Anejo 3 *Estudio de la Situación Actual*.

6.1. Seguridad nominal.

La finalidad del análisis de la seguridad nominal del trazado existente es conocer el grado de cumplimiento de las especificaciones establecidas por el Ministerio de Fomento en la Instrucción de Carreteras Norma 3.1-IC.

6.1.1. Trazado en planta.

- **Rectas:** longitud mínima, máxima y rectas de longitud limitada.

La longitud máxima de las rectas se limita para evitar que el conductor sienta cansancio, monotonía, deslumbramientos y excesos de velocidad. Y la mínima para hacer posible la acomodación y adaptación, siempre que se disponga de recta intermedia entre las alineaciones curvas.

Las rectas de longitud limitada son aquellas que se encuentran entre dos alineaciones curvas cuando la velocidad máxima alcanzable se ve condicionada por la presencia de éstas. Para una velocidad de proyecto de 40 km/h, se considera recta de longitud limitada a aquella menor o igual a 30 metros (≤ 30 m).

$$L_{min,s} = 1.39 \cdot V_p$$

$$L_{min,o} = 2.78 \cdot V_p$$

$$L_{max} = 16.70 \cdot V_p$$

Tabla 3. Longitudes límite en rectas

Lmin,s (m)	55.6
Lmin,o (m)	111.2
Lmax (m)	668

Tabla 4. Análisis de las rectas.

R. longitud Limitada	Cumplen Lmin,s	Cumplen Lmin,o	No cumplen Lmín.	No Cumplen Lmax.
Nº Elementos	25	6	3	14

- **Curvas circulares:** Radio mínimo.

La estabilidad al deslizamiento de un vehículo cuando circula por una curva es función de la siguiente expresión:

$$V^2 = 127 \cdot R \left(ft + \left(\frac{p}{100} \right) \right)$$

Siendo:

V = Velocidad de la curva circular (km/h).

R = Radio de la circunferencia que define el eje del trazado en planta (m).

ft = Coeficiente de rozamiento transversal movilizado.

p = Peralte (%)

El radio deducido de la ecuación anterior constituye el mínimo admisible en el diseño de la curva circular. Para V = 40 km/h (Velocidad de proyecto), ftmax = 0.180 y p = 7 %.

Tabla 5 Radio mínimo curvas circulares

Rmin (m)	50
----------	----

Tabla 6. Análisis Radio mínimo en curvas circulares

Nº Elementos	Cumple Rmín.	No cumple Rmín.
	34	14

- **Curvas de transición:** limitaciones clotoides.

Las clotoides evitan discontinuidades de curvatura al variarla gradualmente a lo largo de su desarrollo. Y obedecen a la siguiente expresión:

$$R \cdot L = A^2$$

Siendo:

R = Radio de curvatura en un punto cualquiera.

L = Longitud de la curva entre su punto de inflexión (R = ∞) y el punto de radio R.

A = Parámetro de la clotoide, característico de la misma

Teniendo en cuenta las limitaciones máximas y mínimas por comodidad, seguridad y estética-armonía expuestas en el anejo 3 *Estudio de la Situación Actual* se ha obtenido:

Tabla 7. Análisis clotoides

Nº Elementos	Cumplen Parametro A	No cumplen Parámetro A
	1	41

- **Coordinación entre alineaciones curvas consecutivas.**

Cuando se unan dos alineaciones curvas consecutivas (constituida cada una por una curva circular con sus correspondientes curvas de acuerdo) sin alineación recta intermedia o con una recta de longitud limitada, la relación de radios de las curvas circulares no sobrepasará los valores obtenidos a partir de las siguientes expresiones:

Tabla 8 Relación entre radios de curvas circulares consecutivas sin recta intermedia o con recta de longitud limitada

R (m)	R' (m)
50-450	$\frac{50}{77} \cdot R + 7.8 \leq R' < \frac{127}{80} \cdot R - 14.4$ ec. 12
450-700	$\frac{40}{135} \cdot R + 166.7 \leq R' < \frac{110}{25} \cdot R - 1280$ ec. 13
700-1800	$R' \geq \frac{40}{135} \cdot R + 166.7$ ec. 14
>1800	$R' \geq 700$ ec. 15

Del análisis se obtiene:

Tabla 9. Análisis de radios consecutivos para curvas circulares sin recta intermedia o recta de longitud limitada

	Nº elementos que cumplen coordinación	Nº elementos que No cumplen coordinación
Sentido creciente PK	4	20
Sentido decreciente PK	4	20

6.1.2. Trazado en alzado.

- Inclinación de las rasantes.**

La Norma 3.1-IC establece para carreteras convencionales con una velocidad de proyecto de 40 km/h:

Tabla 10. Valores máximos inclinación rasante.

Vp (km/h)	Inclinación Máxima (%)	Inclinación máx. Excepcional (5)
40 km/h	7	10

La inclinación mínima será mayor o igual que 5 décimas por ciento ($\geq 0,55$). Y excepcionalmente, se podrá alcanzar un valor menor, mayor o igual a dos décimas por ciento ($\geq 0,2$).

Además, no se dispondrán de rampas y pendientes, para el caso que nos ocupa, con una inclinación máxima del 7 % cuya longitud supere los 3000 metros (≤ 3000). Ni cuyo tiempo de recorrido a velocidad de proyecto (40 km/h) sea inferior a 10 segundos. Por tanto:

Tabla 11. Longitudes máximas y mínimas.

Vp (km/h)	Longitud máxima (m)	Longitud mínima (m)
40	3000	111.1

En el estado de alineaciones en alzado del apéndice 1 se puede observar que se cumplen los valores máximos y mínimos de inclinación de las rasantes, además, de la longitud máxima establecida por la Normativa. En cambio, la rasante 2 y 5 no cumplen la condición de Longitud mínima de 111.11 metros.

- Acuerdos verticales**

Las curvas de acuerdo vertical son parábolas que cumplen la siguiente función:

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot Kv} \quad \text{ec. 16}$$

Siendo:

Kv = radio de la circunferencia osculatriz en el vértice de dicha parábola, denominado comúnmente "parámetro".

La Instrucción establece el cumplimiento de las siguientes expresiones para el cálculo del k_v :

- Acuerdos convexos:

$$k_v = \frac{D^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} \cdot \sqrt{h_2})^2}$$

- Acuerdos cóncavos:

$$k_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h - h_2 + D \cdot \text{tg}\alpha)}$$

Siendo:

Kv = Parámetro de la parábola (m).

h_1 = Altura del punto de vista del conductor sobre la calzada (m).

h_2 = Altura del objeto sobre la calzada (m).

h = Altura de los faros del vehículo (m).

α = Ángulo que el rayo de luz de mayor pendiente del cono de luz de los faros forma con el eje longitudinal del vehículo.

D = Visibilidad requerida (m)

El valor del parámetro Kv en el diseño de una carretera es importante por razones de comodidad en la conducción y visibilidad. Si la visibilidad requerida (D) cuando se circula a través de una curva de acuerdo vertical es mayor que la longitud (L) de la propia curva, se pueden producir accidentes. Por alcance, cuando hablamos de Visibilidad de Parada, o choques frontales cuando hablamos de Visibilidad de Adelantamiento

Para una carretera del grupo 3, con velocidad de proyecto de 40 km/h y una altura de obstáculo de 50 cm:

Tabla 12. Parámetros mínimos acuerdos verticales.

Acuerdos convexos		Acuerdos cóncavos	
Kv parada (m)	Kv adelantamiento (m)	Kv parada (m)	Kv adelantamiento (m)
250	300	760	2400

Todos los Kv son superiores a los valores mínimos de la tabla 13. Luego, la carretera existente cumple en este aspecto.

- Coordinación planta-alzado**

Una mala coordinación planta-alzado puede ocasionar problemas de:

- Pérdida de trazado
- Pérdida de orientación
- Pérdida de dinámica

Para evitarlo la Norma 3.1 IC establece el cumplimiento de los siguientes aspectos:

- Los puntos de tangencia de todo acuerdo vertical, en coincidencia con una curva circular, estarán situados dentro de la clotoide en planta y lo más alejados posible del punto de radio infinito.
- En carreteras con velocidad de proyecto (Vp) menor o igual que sesenta kilómetros por hora el cociente k_v/R será mayor o igual que seis (6).

Tabla 13. Análisis coordinación planta alzado mediante relación k_v/R

Nº Elementos	Cumple coordinación planta-alzado	
	Cumple coordinación planta-alzado	No cumplen coordinación planta-alzado
	19	2

6.1.3. Sección transversal.

El epígrafe 7.3 *Sección Transversal En Planta* de la norma 3.1 IC, establece para una carretera convencional de velocidad de proyecto de 40 o 50 km/h un ancho de arcén de 0,5 o 1 metros. La carretera objeto de estudio carece de arcones con longitud mínima de 0,5 metros en la mayor parte del trazado. Por tanto, no se cumple esta especificación.

La carencia de berma sí que queda justificada debido al carácter accidentado de la zona sobre la que se asienta la carretera.

6.2. Seguridad Sustantiva.

Un diseño geométrico seguro no es aquel que se limita únicamente al cumplimiento de la seguridad nominal. Las normativas técnicas para el diseño de carreteras pretenden lograr objetivos de: funcionalidad, comodidad, integración ambiental, armonía o estética, economía y elasticidad. Generalmente, estos objetivos se encuentran contrapuestos. Y, en consecuencia, la necesidad de satisfacer el conjunto de objetivos lleva a priorizar unos sobre otros. Por tanto, un diseño geométrico que cumpla la normativa no tiene por qué ser un diseño geométrico seguro.

La seguridad vial Sustantiva estudia a través de la consistencia la interacción entre la infraestructura y el factor humano. Estos dos, junto con las características del vehículo son los factores que concurren en un accidente de tráfico.

Para el estudio de la consistencia, se utilizará el criterio basado en la variación de la velocidad de operación (Vop). Ya que, en la práctica los vehículos no mantienen una velocidad constante para todo el tramo, sino que adaptan la velocidad a la que consideran adecuada para recorrer cada uno de los elementos geométricos.

Se suele asumir como velocidad de operación el percentil 85 de la velocidad desarrollada por los conductores en condiciones de flujo libre y sin restricciones ambientales. Esto es, siendo coartados exclusivamente por la geometría de la vía.

Entre los distintos métodos de estudio de la consistencia basados en la velocidad de operación se puede distinguir, por una parte, aquellos que llevan a cabo una evaluación local de cada uno de los elementos geométricos del trazado. Y, los criterios de evaluación Global, que tienen en cuenta el conjunto del tramo que se está analizando.

6.2.1. Criterios Locales

El criterio Local que se ha utilizado, denominado Criterio II de Lamm, se basa en examinar la variación de las velocidades de operación de los elementos geométricos consecutivos en planta a lo largo del trazado de la carretera, indicando donde se ha producido el fallo de seguridad.

Este criterio se rige por los siguientes umbrales de consistencia:

Tabla 14. Umbrales de consistencia Criterio II de Lamm

Buena	Aceptable	Pobre
$ V_{85,i} - V_{85,i+1} \leq 10$	$10 < V_{85,i} - V_{85,i+1} \leq 20$	$20 < V_{85,i} - V_{85,i+1} $

Para obtener los perfiles de velocidad de operación en el sentido creciente y decreciente de los puntos kilométricos se han utilizado los modelos que se muestran a continuación:

- Velocidad de operación en curvas. Pérez et al.

$$v_{85} = 97,4254 - \frac{3310,94}{R}; \quad 400 \text{ m} < R \leq 950 \text{ m}$$

$$v_{85} = 102,048 - \frac{3990,94}{R}; \quad 70 \text{ m} < R \leq 400 \text{ m}$$

- Velocidad de operación en rectas. Pérez et al.

$$\lambda = 0,00135 + (R - 100) * 7,00625 * 10^{-6}$$

$$v_{85} = v_{85C} + (1 - e^{-\lambda \cdot T_L}) \cdot (110 - v_{85C})$$

- Tasa de aceleración. Camacho et al.

$$\text{tasa aceleración} = 0,417 + \frac{65,936}{R}$$

- Tasa de deceleración. García et al.

$$\text{tasa deceleración} = 0,313 + \frac{114,436}{R}$$

La aplicación del Criterio II de Lamm a los perfiles de velocidad de operación, en el sentido creciente y decreciente de los PKs, desarrollados a partir de la aplicación de los modelos anteriores se representan en las ilustraciones 7 y 8.

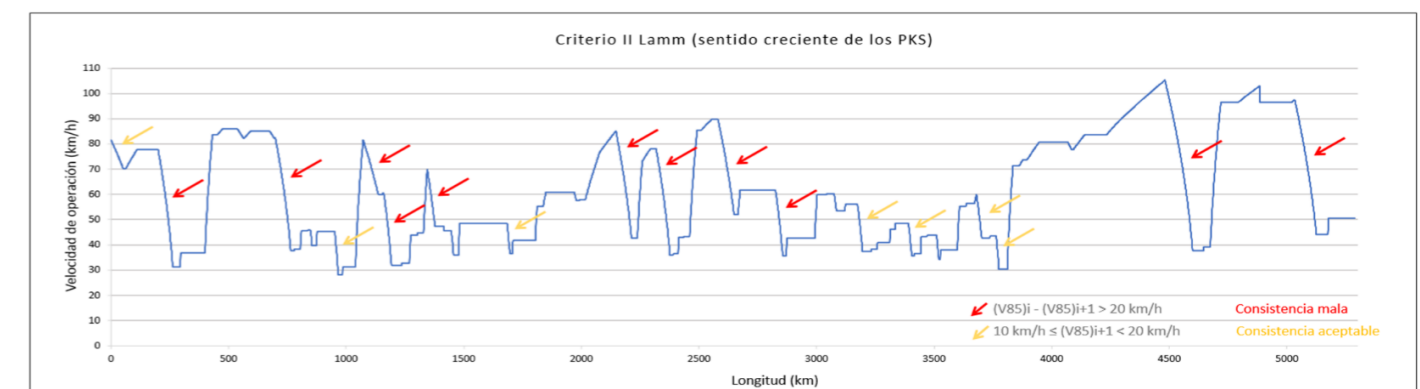


Ilustración 7. Criterio II Lamm sentido creciente de los PKs

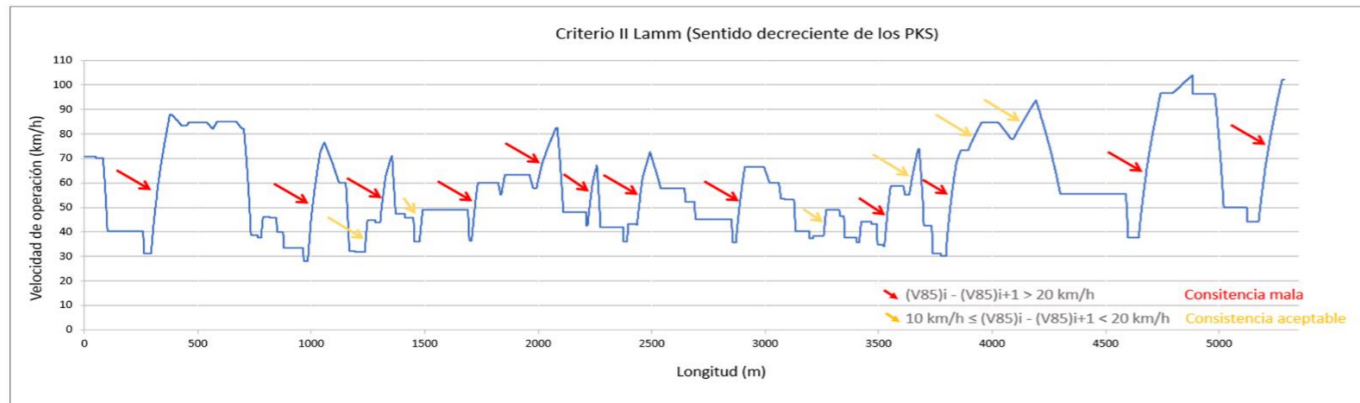


Ilustración 8. Criterio II Lamm sentido decreciente de los PKS

	Nº elementos con consistencia buena	Nº elementos con consistencia aceptable	Nº elementos con consistencia mala
Sentido creciente Pk	8	7	11
Sentido decreciente Pk	8	6	12

6.2.2. Criterios Globales.

Se ha utilizado el criterio global desarrollado por Camacho et al (2012). A través de este método se estudia la dispersión del perfil de velocidades de operación y se relaciona con la carga cognitiva del conductor, puesto que se entiende que son directamente proporcionales. En consecuencia, una mayor carga cognitiva se asocia a una mayor probabilidad de accidente.

Este modelo evalúa la consistencia global a partir del siguiente índice:

$$C = \sqrt[3]{\frac{\bar{v}_{85}}{\bar{a}_{85}}}$$

Siendo:

C = Índice que refleja la consistencia

\bar{v}_{85} = Media de las velocidades de operación

\bar{a}_{85} = Media de las tasas de deceleración aplicadas en cada deceleración del perfil de velocidad de operación.

Este índice se clasifica de acuerdo a los siguientes umbrales de consistencia global:

Tabla 15. Umbrales de consistencia criterio global

Buena	$C > 3,25$
Aceptable	$2,55 < C \leq 3,25$
Mala	$C \leq 2,55$

La aplicación del índice de consistencia global al tramo objeto de estudio ha dado los siguientes resultados:

Tabla 16. Valoración de la consistencia global.

	Sentido creciente PKS	Sentido decreciente PKS
\bar{v}_{85} (km/h)	54,659	54,04
\bar{a}_{85}	2,85	2,78
C	2,67	2,68
Consistencia	Aceptable	Aceptable

6.2.3. Accidentalidad

Mediante los índices de consistencia global obtenidos en el apartado anterior se puede estimar la accidentalidad en los próximos diez años aplicando la Safety Performance Function (SPF) de Camacho:

$$Y_{10} = e^{-3,91602 \cdot L^{1,16103}} \cdot IMD^{0,8015} \cdot e^{-0,64299 \cdot C}$$

Siendo:

Y = Tasa de siniestralidad (n.º accidentes cada diez años).

L = Longitud del tramo objeto de estudio (km)

IMD = Intensidad media diaria. Obtenida en el anejo N.º 1 Estudio del tráfico (vh/día).

C = Consistencia Global de Camacho et al.

Tabla 17. Estimación accidentalidad.

Sentido creciente de los PKS			
L (km)	IMD (vh/día)	C	N.º accidentes
5,286	872	2,67	5,62
Sentido decreciente de los PKS			
L (km)	IMD (vh/día)	C	N.º accidentes
5,286	872	2,68	5,58

6.3. Conclusiones de los resultados.

El análisis de la seguridad vial de la carretera -340, entre el PK 833+000 y el PK 838+600 ha puesto en evidencia:

- La obsolescencia de la infraestructura en el cumplimiento de la normativa vigente.
- La existencia de puntos con consistencia mala que disminuyen significativamente la seguridad vial aumentando la probabilidad de accidente y que es necesario corregir mediante un rediseño del trazado.

Queda justificado el desarrollo de una propuesta de adecuación de la carretera N-340, entre el PK 833+000 y el PK 838+600.

7. Propuesta de Adecuación.

En el siguiente apartado se va a presentar la propuesta de adecuación que ha sido diseñada con la finalidad de resolver las deficiencias en materia de seguridad vial nominal y sustantiva que se han detectado en el análisis de la carretera existente

A continuación, se expondrán los resultados del estudio de la Seguridad Vial de la propuesta de trazado para comprobar en qué medida dichas deficiencias han sido resueltas.

7.1. Criterios de diseño.

Se han establecido unos condicionantes para su diseño con la finalidad de que el impacto ambiental y el coste global sean los menores posibles, sin dejar de lado la seguridad, que es el objetivo primordial:

- **Se respetarán las obras de paso superior, transcurriendo el nuevo el trazado por ellas:** se procurará evitar el paso de la traza por propiedades privadas tales como viviendas, campos de cultivo, etc. Pero se priorizará por la expropiación, en el caso de que no pueda ser evitado que el nuevo trazado rebase una propiedad privada para salvaguardar la obra de paso superior, dado que la construcción de un puente tiene un coste mucho mayor.
- **Se priorizará el desmonte frente al terraplén:** como se ha visto, el trazado de la carretera actual consta de tres tramos geológicamente distintos. El tramo intermedio, que abarca casi la totalidad del trazado, está constituido por roca caliza de buena calidad. La posibilidad de ejecutar taludes verticales disminuye el movimiento de tierras.
- **Se ajustará el nuevo trazado, en la medida de lo posible, a las curvas de nivel:** de esta manera, las pendientes aumentan gradualmente, el trazado es más funcional y el movimiento de tierra está más controlado.
- **Las consistencias permitidas según el criterio II de Lamm serán buenas o aceptables.** Se corregirán los escalones de deceleración mayores a 20 km/h. Hay que tener en cuenta que la tipología accidentada de la zona hace inevitable la ejecución de un trazado de carácter sinuoso. Y que, por tanto, no resulta práctico el diseño de un trazado con una consistencia buena en la totalidad de los elementos que lo componen, sin que este sea poco funcional y con una gran afección ambiental.
- **Se desarrollará un trazado sencillo y funcional.** La carretera existente se compone de una serie de curvas consecutivas de radio reducido unidas a rectas de mayor longitud, esto genera una circulación incómoda, poco segura y poco previsible. Se tratará de disponer un número menor de curvas de mayor longitud que favorezcan el cumplimiento de la Norma 3.1 IC y mejoren la seguridad a costa de una mayor afección ambiental.

Al igual que en la restitución de la carretera se ha hecho uso de AutoCAD Civil 3D 2017.

La resolución de las deficiencias en seguridad vial que presenta la carretera existente pasa por el desarrollo de un proceso iterativo en el que la modificación de elementos aislados con consistencia mala debe ir acompañado de la comprobación del cumplimiento de la normativa.

Para corregir aquellos puntos con consistencia mala y disminuir la variación de velocidad de operación entre elementos consecutivos, se ha optado por actuar directamente sobre las curvas modificando su radio. Generalmente, aumentándolo.

Hay que tener en cuenta que solucionar una inconsistencia localizada en una curva modificando su radio, puede trasladar el problema a los elementos posteriores. Ya sea, porque tras la modificación el elemento posterior pase de una consistencia aceptable a una mala. O, porque se ha dejado de cumplir algún aspecto de la normativa. Por ejemplo, es habitual que la coordinación de radios consecutivos no cumpla.

La propuesta de trazado consta de una alineación principal, de 5.240 metros, unida a una glorieta situada a la salida de la población de Bellús y, a sobre la cual se ha dispuesto de una alineación al este y al oeste que dan acceso a la zona agrícola de la población. En el anejo 4 Propuesta de Trazado se desarrollan los pasos que se han seguido en el diseño de cada alineación.

7.2. Alineación principal.

La alineación principal se constituye de una sección transversal formada por dos carriles de 3 metros y arcenes y bermas de 0,5 metros.

En el tramo 2 de la clasificación geológica se establecen taludes en desmonte 0,1H/1V. Mientras que en terraplén se ha dispuesto un talud 1,5H/1V.

En el tramo 1 de estrato limoso se ha establecido un talud en desmonte y terraplén de 1,5H/1V.

En el tramo 3, puesto que no se conoce con seguridad la existencia de gravas de la muestra de la calicata 3, también se ha dispuesto de un talud en desmonte y terraplén de 1,5H/1V, a semejanza del talud que el terreno describe de forma natural.

Se ha dispuesto, como obra de drenaje longitudinal, cunetas triangulares de talud interior 1H/1V revestidas de hormigón.

7.3. Glorieta.

En este caso la glorieta no se ha establecido para que funcione como un nudo que mejora la seguridad en una intersección de alineaciones con una intensidad de vehículos elevada. Si no que funciona como a un elemento de mejora de la consistencia en el punto donde se sitúa.

Se ha pretendido que el conductor, al visualizar la glorieta, entienda que se va a producir un cambio en las características del tramo consecutivo. Por tanto, sus expectativas se modificarán y conducirá más prudentemente.

La glorieta ha sido diseñada siguiendo las especificaciones establecidas por la Guía de Nudos Viarios del Ministerio de Fomento. compone de dos carriles de 4 metros y arcenes de 1 metro, para facilitar las maniobras de los vehículos pesados.

7.4. Alineaciones Este y Oeste.

Las alineaciones Este y Oeste tienen las mismas características. Al disponer de mayor espacio y un relieve menos accidentado, se han dispuesto carriles de 3 metros de ancho, arcenes de 1 metro y bermas de 0,5 metros.

Los taludes en desmonte y terraplén son de 1,5H/1V.

En los apéndices asociados al anejo 4 *Propuesta de Trazado* se encuentra el estado de alineaciones en planta, alzado y perfil de los puntos singulares y de los puntos cada 20 metros.

7.5. Movimiento de tierras.

Diseñar con el condicionante de priorizar el desmonte frente al terraplén ha supuesto que el volumen de desmonte sea muy superior al de terraplén. Para su compensación se utilizarán los metros cúbicos de roca caliza extraída como relleno tipo pedraplén, árido grueso para hormigón y suelo-cemento.

Para ello será necesario establecer con la mayor proximidad posible a la obra una planta de machaqueo de áridos y medios para fabricar aglomerado y suelocemento.

Otra posibilidad, teniendo en cuenta la existencia de una cantera es tratar de firmar un convenio a través del cual sea posible realizar el machaqueo de la roca en la propia cantera. Y seguidamente transportar el material con la granulometría correspondiente para su uso a la planta para la fabricación del hormigón.

En el apéndice 5 del anejo 4 *Propuesta de Trazado* se puede observar el movimiento de tierras en unidades de metros cuadrados y metros cúbicos cada 20 metros.

7.6. Seguridad Vial

La propuesta de trazado cumple todos los análisis realizados sobre la carretera existente en materia de seguridad nominal.

Se han dispuesto los sobrecanchos y peraltes de acuerdo con la normativa. Además, para mejorar la visibilidad, se han obtenido los parámetros mínimos Kv de las curvas de acuerdo vertical utilizando la velocidad Específica de cada curva en planta sobre la que se sitúa el vértice de la curva de acuerdo. En vez de utilizar la velocidad de proyecto como establece la Norma 3.1 IC. Siendo la velocidad específica la más parecida a la velocidad de operación.

Para ello, se ha calculado la velocidad de parada mediante la siguiente expresión:

$$Dp = \frac{V * tp}{3,6} + \frac{V^2}{254 * (fl + i)}$$

Donde:

Dp = Distancia de parada (m).

V = Velocidad al inicio de la maniobra de frenado (km/h).

fl = Coeficiente de rozamiento longitudinal movilizado rueda-pavimento. Tabla 3.1 Norma 3.1 IC.

i = Inclinación de la rasante (en tanto por uno).

tp = Tiempo de percepción y reacción (s). Es de 2 segundos

Obtenida la distancia de parada, se calcula el valor de Kv en función del tipo de acuerdo, utilizando como visibilidad requerida (D) el valor de Distancia de Parada calculado, mediante las expresiones expuestas anteriormente en el apartado 6.1.2 *Acuerdos verticales*.

De esta manera se cumplirá el Kv mínimo fijado por la Norma y además aumentará significativamente el grado de visibilidad.

El análisis de la consistencia local a través del Criterio II de Lamm se observa en las ilustraciones 9 y 10.

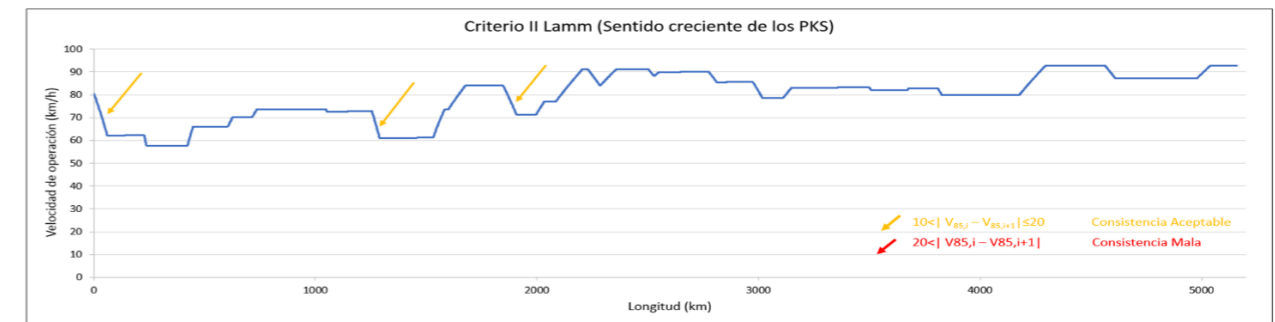


Ilustración 9. Criterio II Lamm sentido creciente de los PKS

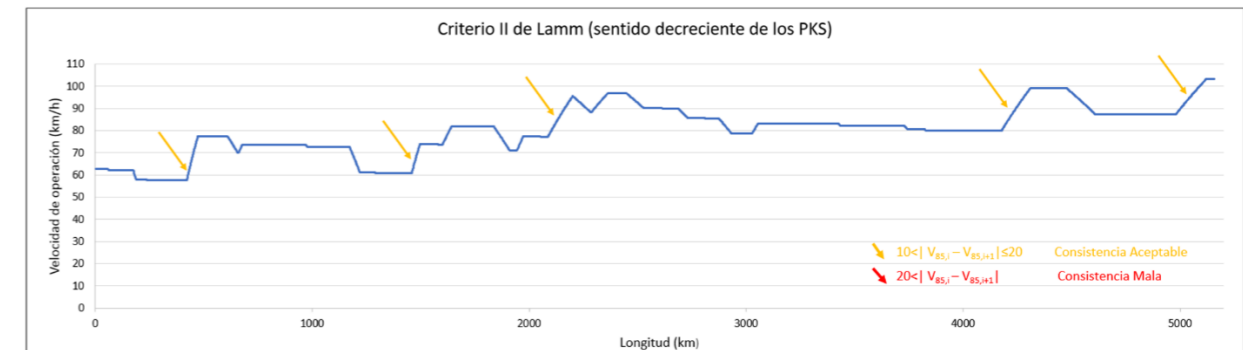


Ilustración 10. Criterio II Lamm sentido decreciente de los PKS

	Nº elementos con consistencia buena	Nº elementos con consistencia aceptable	Nº elementos con consistencia mala
Sentido creciente Pk	9	3	0
Sentido decreciente Pk	5	5	0

La consistencia global calculada mediante el índice C de Camacho et al ha dado los siguientes resultados:

	Sentido creciente PKS	Sentido decreciente PKS
\bar{v}_{85} (km/h)	79,38	80,28
\bar{d}_{85}	1,19	1,22
C	4,05	4,03
Consistencia	Buena	Buena

La aplicando de la Safety Performance Function (SPF) de Camacho a estimado la siguiente accidentalidad en los próximos 10 años:

Sentido creciente de los PKS			
L (km)	IMD (vh/día)	C	N.º accidentes
5,242	1161	4,05	2.88
Sentido decreciente de los PKS			
L (km)	IMD (vh/día)	C	N.º accidentes
5,242	1161	4,03	2.92

Se ha utilizado la IMD del año horizonte.

7.7. Conclusiones de los resultados.

El análisis de la seguridad vial de la propuesta de adecuación ha demostrado que:

- El nuevo trazado cumple los parámetros mínimos establecidos por la Norma 3.1 IC
- Se han corregido todos los puntos en los que la consistencia del trazado era mala.
- Se ha estimado una reducción de accidentes en los próximos 10 años de alrededor del 50 %.

8. Firmes.

Para la elección de la explanada y paquete de firmes de la propuesta de adecuación se han seguido las especificaciones de la Norma 6.1 IC y el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG3), teniendo en cuenta la información recabada en el anejo 2 *Geología y Geotecnia*.

Puesto que la zona sobre la que se asienta la carretera se divide en tres zonas geológicamente distintas se ha analizado cada caso en particular.

8.1. Dimensionamiento de la explanada.

- **Zona 1, PK 833+000 a PK833+644.**

De esta zona no se dispone de ningún ensayo que informe de las características de suelo de la traza. Se sabe, como queda reflejado en el anejo 2 *Geología y Geotecnia*, que se compone de un estrato de limos rosados carbonatados.

Los limos en contacto con el agua se colapsan y se reordenan sus partículas dando lugar a asientos. Por tanto, sería necesario realizar un ensayo de colapso para conocer cómo se comporta el suelo cuando se encuentra semisaturado.

Se ha asumido que el estrato limoso tiene características que lo asimilan a un suelo de tipo tolerable en la clasificación de suelos del artículo 330 del PG-3. En cualquier caso, se recomienda ensayar en laboratorio una muestra de la zona, y en caso de tratarse de un suelo marginal será necesario aportar material de otras zonas.

En consecuencia, se ha decidido que lo más recomendable, teniendo en cuenta que se trata de un material granular, sea estabilizar con cal. Tras un proceso de saneo en el que los fondos del estrato se someterán a un tratamiento de preconsolidación y compactación vibratoria.

Se dispondrá, por tanto, de una:

- explanada E1 de 25 cm de suelo estabilizado con cal S-EST1.

En aquellos puntos donde sea necesario terraplenar se utilizará como relleno el pedraplén tratado en planta proveniente de la excavación en roca de la zona 2.

El apartado 5.2 de la Norma 6.1 IC establece que << A los efectos de aplicación de esta norma, los pedraplenes (artículo 331 del PG-3) y los rellenos todo-uno (artículo 333 del PG-3), salvo que se proyecten con materiales marginales de los definidos en el artículo 330 del PG-3, serán asimilables a los suelos tipo 3>>. Es decir, el propio pedraplén constará como suelo seleccionado tipo 3.

Por tanto, en zonas de relleno se dispondrá de una:

- explanada E3 de 25 cm de suelo estabilizado in situ con cemento S-EST3.

Para ello, se utilizará el rechazo procedente del machaqueo de la roca del desmonte constituido por material estéril para estabilizar con cemento.

- **Zona 2, PK 833+644 a PK 837+888.**

Este tramo constituido por roca caliza contiene los desmontes de mayor profundidad, de hasta 25 metros.

El tramo 2 se encuentra en desmonte a excepción de una zona de 57 metros de longitud localizada en el PK 2+099 de la propuesta de trazado (se puede observar esta zona en la hoja 7 de 15 del plano 2.2) en la que es necesario rellenar para alcanzar la rasante de la propuesta de trazado.

La excavación se realizará siguiendo las especificaciones del artículo 322 *Excavación Especial De Taludes En Roca*, mediante voladura.

Una vez se haya alcanzado la cota de la rasante, la norma 6.1 IC establece que se extenderá sobre la roca:

- una capa de 10 cm hormigón en masa con una resistencia característica mínima a compresión a los 28 días de 20 N/mm², constituyéndose una explanada E3.

En los puntos donde sea necesario rellenar se dispondrá, al igual que 1, en el tramo de:

- explanada E3 de 25 cm de suelo estabilizado in situ con cemento S-EST3.

- **Zona 3, PK 837+888 hasta PK 838+600.**

Como se ha razonado en el anejo Nº 2 *Geología y Geotecnia*, se estima que en la zona del tramo 3 se pueden encontrar los mismos suelos que los analizados de las muestras presentes en el estudio geotécnico

Puesto que no se conoce cuál de las tres muestras de material se encontrará sobre la traza de la propuesta de adecuación, se han analizado las posibles opciones.

La **calicata 1** se compone de un suelo arcilloso con fracción arenosa, clasificado como tolerable según el art. 330 del PG-3.

Cumple granulometría, plasticidad, índice CBR a 7 días, porcentaje en masa de materia orgánica y Sulfatos solubles para ser estabilizado como suelo tipo S-EST1 y S-EST2 con cal, pero no cumple como suelo tipo S-EST1, S-EST2 y S-EST3 con cemento.

Teniendo en cuenta los gastos de ejecución, la explanada más económica, en caso de que sobre el suelo de la traza de la propuesta de trazo se encuentre el material de la calicata 1, es una:

- explanada E1 de 25 cm de suelo estabilizado in situ con cal S-EST1.

Las margas facies TAP se presentan como un material pulverulento en el que una estabilización in situ con cal reacciona con éstas mejorando la calidad del suelo.

La **calicata 2** se compone de un suelo arcilloso con fracción arenosa, clasificado como tolerable.

No cumple para ser estabilizado con cal por plasticidad, ni para ser estabilizado con cemento por granulometría.

Teniendo en cuenta los gastos de ejecución, las explanadas más económicas son:

- Opción 1: E1 de 60 cm de suelo adecuado sobre el suelo de la traza
- Opción 2: E1 de 45 cm de suelo seleccionado tipo 2 sobre el suelo de la traza.

Es decir, sobre el suelo tolerable de la traza se deben aportar suelos adecuados o seleccionados que como se menciona en el estudio geotécnico se pueden extraer de los yacimientos naturales que se encuentran en el tramo de la N-340 que une la población de Bellús con Alfarrasí.

Sin embargo, dado que es necesario aportar material igualmente, se hará uso del pedraplén procedente del machaqueo de la roca excavada del tramo 2. Constituyendo, según la norma 6.1 IC, una explanada E3 que se asemeja a un suelo seleccionado tipo 3. De esta manera se ha dispuesto:

- Explanada E3 de 25 cm de suelo estabilizado in situ con cemento S-EST3.

La **calicata 3** se compone de gravas mal graduadas con matriz arcillosa de baja plasticidad. Se clasifica como suelo seleccionado según el artículo 330 del PG-3.

No cumple granulometría para ser estabilizado como suelo tipo S-EST1 y S-EST2 con cal, ni para ser estabilizado como suelo S-EST1, S-EST2 y S-EST3 con cemento.

Explanadas posibles:

- Opción 1: E2 de 100 cm de suelo seleccionado tipo 2 de la traza.
- Opción 2: E2 DE 100 cm de suelo seleccionado tipo 3 de la traza.

Será necesario realizar el ensayo CBR en caso de que sobre la traza del tramo 3 se encuentre este tipo de suelo, ya que en el estudio geotécnico no se realizó dicha prueba para la calicata 3. En función del índice CBR obtenido se podrá disponer de un suelo seleccionado 3, en caso de que el valor del CBR sea mayor o igual a 20 según la norma 6.1 IC.

En los puntos donde sea necesario rellenar se dispondrá, al igual que en el tramo 1 de:

- explanada E3 de 25 cm de suelo estabilizado in situ con cemento S-EST3.

8.2. Dimensionamiento del firme

La norma 6.1 IC establece una serie de secciones de firme en función de la categoría de tráfico pesado y la categoría de explanada.

Del anejo 1 Estudio del tráfico se extrae un porcentaje de pesados del 29.7 % que corresponde a 256 vhp/día. Por tanto, para el carril de proyecto, teniendo en cuenta que la propuesta de trazado consta de una calzada con doble sentido de circulación, será de 128 vhp/día, cifra que se encuentra dentro del intervalo de la categoría de tráfico **T31**.

El uso de hormigón de firmes está prácticamente en desuso y, además, las funciones estructurales y portantes de los firmes con mezcla bituminosa son mejores, por tanto, los paquetes de firme con hormigón quedan descartados.

Para decidir si utilizar como cimiento del firme Zahorra Artificial o Suelo-Cemento (SC) se ha realizado un estudio económico para comparar el coste que tendría disponer un paquete de firme u otro. Para ello, se han extraído los precios de referencia de la Orden Circular 37/2016 *BASE DE PRECIOS DE REFERENCIA DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS*, disponible en la web del Ministerio de Fomento.

La comparación económica ha dado como resultado que, pese a que el precio por metro cúbico de ZA es inferior al del SC, los espesores del paquete de firme con suelo-cemento son inferiores a los constituidos por zahorra, siendo más económico el formado por SC como cimiento del firme.

Con la finalidad de aprovechar el volumen de roca extraída de la zona 2, se obtendrá la granulometría necesaria para su uso como suelo-cemento. Por tanto, en las proximidades de la carretera se instalará una planta de machaqueo y medios para fabricar aglomerado y suelo-cemento. Otra opción, es tratar de firmar un convenio con la cantera mediante el cual ésta se encargue de la parte de la trituración de la roca.

De esta manera se dispondrá en función de la explanada:

- E1.
 - Paquete de firme 3112: 15 cm de mezcla bituminosa y 30 cm de Suelo-cemento.
- E2.
 - Paquete de firme 3122: 12cm de mezcla bituminosa y 30 cm de Suelo-cemento.
- E3.
 - Paquete de firme 3132: 12 cm de mezcla bituminosa y 22 cm de Suelo-cemento.

Para el paquete de firme en los arcenes la norma 6.1-IC establece:

<< Salvo justificación en contrario, el firme de los arcenes de anchura no superior a 1,25 m será, por razones constructivas, prolongación del firme de la calzada adyacente. Su ejecución será simultánea, sin junta longitudinal entre la calzada y el arcén. >>

Puesto que los anchos de los arcones de la propuesta de trazado tanto en las alineaciones principal, este y oeste, como en la glorieta son inferiores a 1,25 metros, se prolongarán los firmes de la calzada para la constitución del arcén.

8.2.1. Mezclas bituminosas.

Según el apartado 6.2.1.2 del Norma 6.1 IC no se podrán utilizar mezclas bituminosas discontinuas calientes tipo M, ni mezclas drenantes (PA) debido a la categoría de tráfico (para T00 y T1) y a las condiciones pluviométricas: Requiere zona lluviosa, o poco lluviosa con pendiente longitudinal inferior al 1.5 %, con régimen de precipitación corto pero intenso, durante un número significativo de días al año. Además de una intensidad de circulación $IMD \geq 5000$ vh/día.

Tampoco se podrá hacer uso de Mezclas bituminosas de alto módulo según el apartado 6.2.1.3 de la norma 6.1 IC, dado que requiere un espesor total de la mezcla bituminosa en caliente igual o superior a 25 cm y cuya explanada sea de categoría E3 y E2.

Para la elección del espesor de cada capa de mezcla bituminosa se del apartado 6.2.1.1 *Espesor de la Mezcla Bituminosa* de la Norma 6.1 IC.

- Para la explanada E1.
 - 10 cm de mezcla bituminosa de tipo hormigón bituminoso AC32baseG como capa base.
 - 5 cm de mezcla bituminosa de tipo hormigón bituminoso AC22surfS como capa de rodadura.
- Para la explanada E2.
 - 7 cm de mezcla bituminosa de tipo hormigón bituminoso AC32baseG como capa base
 - 5 cm de mezcla bituminosa de tipo hormigón bituminoso AC22surfS como capa de rodadura.
- Para la explanada E3.
 - 7 cm de mezcla bituminosa de tipo hormigón bituminoso AC32baseG como capa base.
 - 5 cm de mezcla bituminosa de tipo hormigón bituminoso AC22surfS como capa de rodadura

8.2.2. Ligante bituminoso.

La carretera objeto de estudio se encuentra según la figura 3 *Zonas Térmicas Estivales* del apartado 6.2.1 *Mezclas Bituminosas en Caliente* de la Norma 6.1-IC en una zona térmica estival definida como **Media**.

De esta manera, mediante la tabla 542.1.a, *Tipo De Ligante Hidrocarbonado A Emplear En Capa De Rodadura Y Siguiente*, y la tabla 542.1.b, *Tipo De Ligante Hidrocarbonado A Emplear Capa De Base, Bajo Otras Dos*, del Artículo 542, *Mezclas Bituminosas Tipo Hormigón Bituminoso*, para una zona térmica estival media y una categoría de tráfico pesado T31 se podrá hacer uso de los siguientes ligantes:

- Capa de rodadura: 50/70, BC50/70, PMB 45/80-60.

- Capa de Base: 50/70, 70/100, BC50/70

8.2.3. Riegos.

Teniendo en cuenta la naturaleza de los paquetes de firme elegidos se efectuarán los riegos que a continuación se definen según la norma 6.1 IC:

- Riego de curado: Sobre las capas tratadas con un conglomerante hidráulico se proyectará un riego de curado, definido en el artículo 532 del PG-3.
- Riego de adherencia: Sobre las capas de materiales tratados y las capas de mezcla bituminosa que vayan a recibir una capa de mezcla bituminosa deberá efectuarse, previamente, un riego de adherencia, definido en el artículo 531 del PG-3. La correcta ejecución de este riego es fundamental para el buen comportamiento del firme.

Para una categoría de tráfico T31 se utilizará como riego de adherencia:

- Emulsión bituminosa convencional C60B3 ADH, según la tabla 531.1 de artículo 531 del PG-3.

El riego de curado constará de:

- Emulsión bituminosa C60B3 CUR según la tabla 214.1 del artículo 214 del PG-3.

8.2.4. Aprovechamiento del firme existente.

Como se ha podido observar en el anejo Propuesta de Trazado, uno de los criterios de diseño era el de preservar las obras de paso superior de la carretera existente con la finalidad de minimizar costes.

Durante la visita de campo se pudo observar el buen estado del firme actual de ambos puentes. Y teniendo en cuenta, como se ha visto en el anejo 1 Tráfico, que el nivel de servicio actual, al igual que el del año horizonte, es de categoría A, el firme existente podría soportar las cargas y deformaciones derivadas de la circulación de vehículos.

9. Conclusiones.

Mediante el presente documento, "Estudio del trazado y propuesta de adecuación de la carretera N-340, entre el PK 833+000 (T.M de Bellús) y el PK 838+600 (T.M. de Xàtiva), en la provincia de valencia" se propone una solución para mejorar las deficiencias que presenta el trazado en materia de Seguridad Vial.

La propuesta de trazado se adapta a la normativa vigente y resuelve los problemas de consistencia mediante un diseño más sencillo en el que se reduce la probabilidad de accidente y aumenta el confort y comodidad en la circulación.

Valencia, septiembre 2017



Fdo. Antoni Prats Cerveró