



CONCURSO PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE CV-190 A SU PASO POR EL MUNICIPIO DE FIGUEROLES (PROVINCIA DE CASTELLÓN). ALTERNATIVA NORTE

MEMORIA

Trabajo final de grado

Curso: 2014/15

Autor: Marina Camarena Escribano
Tutor: Julián Alcalá González
Cotutor: Hugo Coll Garrido
Tit.: Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Autor: Francisco Natividad Roig
Tutor: Julián Alcalá González
Cotutor: Hugo Coll Garrido
Tit.: Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Autor: Guillermo Deltell Bernabé
Tutor: Francisco Javier Camacho Torregrosa
Cotutor: Ana María Pérez Zuriaga
Tit.: Grado en Ingeniería Civil

Autor: Fernando Higón García
Tutor: Francisco Javier Camacho Torregrosa
Cotutor: Ana María Pérez Zuriaga
Tit.: Grado en Ingeniería Civil

Autor: David Gamarra Sahuquillo,
Tutor: Francisco Javier Camacho Torregrosa
Cotutor: Ana María Pérez Zuriaga
Tit.: Grado en Obras Públicas

Valencia, junio de 2015



MEMORIA ALTERNATIVA NORTE

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES 5

2. OBJETO..... 5

3. LOCALIZACIÓN..... 5

4. SITUACIÓN ACTUAL..... 6

 4.1. Análisis de Tráfico 6

 4.2. Estudio Dinámica Poblacional 6

 4.3. Análisis seguridad vial..... 6

5. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA..... 7

 5.1. Geología y geotecnia 7

 5.2. Hidrología y drenaje 8

 5.3. Análisis del tráfico 10

 5.4. Diseño geométrico 13

 5.4.1. Trazado en Planta 13

 5.4.2. Trazado en Alzado..... 13

 5.5. Diseño de los nudos..... 14

 5.6. Análisis de Seguridad Vial..... 15

 5.7. Diseño del Firme 17

 5.7.1. Categoría de la Explanada 17

 5.7.2. Secciones de Firme 17

 5.7.2.1. Espesores de las capas de mezcla bituminosa..... 18

 5.7.2.2. Riegos 18

 5.7.3. Arcenes 18

 5.8. Cálculo estructural..... 19



1. ANTECEDENTES

La población de Figueroles se sitúa en la comarca de l'Alcalatén, dentro de la zona de influencia del puerto y la ciudad de Castellón, formando parte de un área industrial azulejera de gran importancia económica.

La carretera objeto de estudio tiene una función vertebradora en la zona hacia el interior de la provincia., además de servir de acceso al gran número de empresas del sector ubicadas en los alrededores del municipio.

Este alto nivel de actividad industrial implica un alto nivel de tráfico de vehículos pesados, lo que supone serios inconvenientes a su paso por Figueroles. Estos son fundamentalmente de dos tipos: reducción de la capacidad y nivel de servicio, así como una disminución de la seguridad vial. Además, genera otras externalidades como contaminación acústica y de emisiones sobre los habitantes del municipio.

Como consecuencia de esta problemática surge la necesidad de estudiar la construcción de una variante a dicha carretera, de forma que se evite el paso del gran número de vehículos pesados por la travesía del municipio, reduciendo los problemas descritos anteriormente.

2. OBJETO

El principal objeto del presente estudio es la definición, a nivel de proyecto básico, de las obras pertenecientes al “Proyecto de construcción de la variante CV-190 a su paso por Figueroles (Castellón)”.

Esta variante deberá circunvalar Figueroles por la zona norte, pudiendo recoger el tráfico (tanto ligero como pesado), aliviando el que atraviesa la travesía. Se analizará la solución óptima desde el punto de vista del trazado, seguridad vial y funcionalidad, estudiando la mejor forma de aumentar las conexiones en las zonas de los nudos. Por otra parte, se definirán con suficiente concreción las estructuras necesarias y el sistema hidrológico existente.

Así mismo, la nueva variante debe integrar todas las medidas protectoras y correctoras del Estudio de Impacto Ambiental.

3. LOCALIZACIÓN

La localización de la alternativa objeto de estudio, se encuentra en las zonas próximas a la población de Figueroles situada en el norte de la Comunidad Valenciana, en el interior de la Provincia de Castellón.

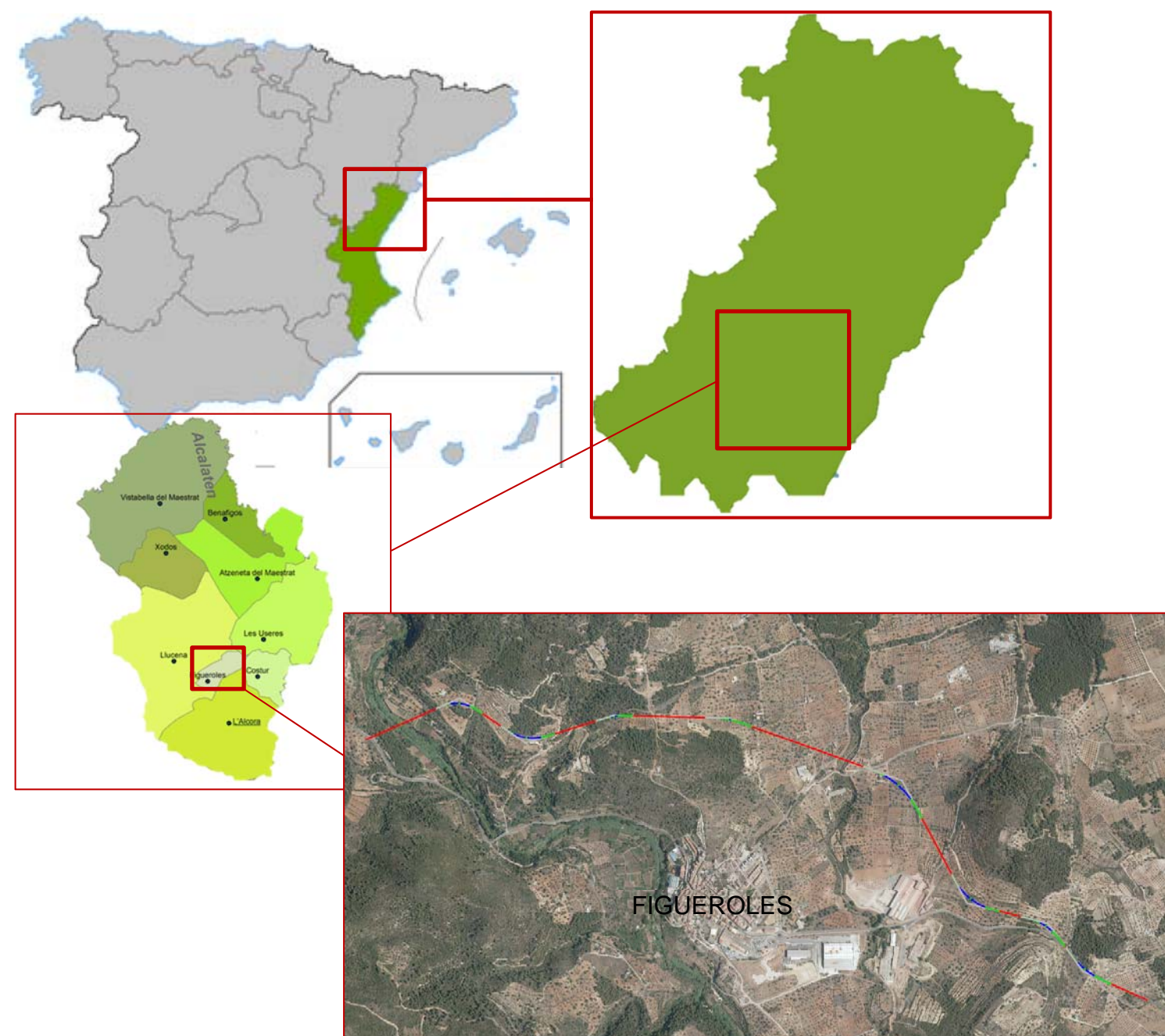


Fig. 1. Localización de la variante de estudio



4. SITUACIÓN ACTUAL

4.1. Análisis de Tráfico

El objetivo fundamental consiste en analizar y caracterizar el tráfico localizado en nuestro ámbito de actuación, que será descrito con detalle en el alcance. Será necesario para ello el análisis de datos de distintas estaciones de aforo, junto con los aforos manuales elaborados expresamente para esté proyecto de actuación.

Se determinará la capacidad y nivel de servicio de los distintos tramos de vía.

Es importante analizar no solo analizar el tramo en el que se van a ejecutar las mejoras, sino también los adyacentes, pues son estos los que condicionan el desarrollo del tráfico y resultan indispensables para una correcta interpretación de los datos analizados, evitando así posibles deformaciones locales de la realidad del tráfico.

4.2. Estudio Dinámica Poblacional

Las infraestructuras de transporte se conciben como una herramienta al servicio de las personas para desarrollar su actividad. De esta condición se deduce necesariamente la estrecha relación entre los factores socio-económicos y la necesidad de estas infraestructuras.

Analizar la interacción entre el territorio, la infraestructura y su población es vital para la correcta interpretación de la situación y detección de necesidades.

En resumen, estudiar el comportamiento de la población ubicada en el territorio de afección de una determinada infraestructura de transporte será determinante en la toma de decisión de posibles soluciones.

4.3. Análisis seguridad vial

La importancia del análisis de la seguridad en la vía radica en el simple hecho de que los usuarios de las infraestructuras de transporte, puedan utilizar las mismas con la mínima exposición al riesgo y evitar así posibles accidentes con consecuencias tanto físicas como psicológicas.

Se analizan los diversos factores concurrentes en la seguridad vial, explicando las características de cada uno de ellos.

Se realizará un listado de deficiencias de seguridad vial detectadas y documentadas tanto en la visita a campo, como en análisis posteriores mediante herramientas informáticas.

5. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

5.1. Geología y geotecnia

Este trabajo Fin de Grado se enmarca en el trabajo multidisciplinar denominado Proyecto de Construcción de la variante CV-190 a su paso por el municipio de Figuerles (Castellón), elaborado en su conjunto por un grupo de más de 20 alumnos de las titulaciones de Grado en Ingeniería de Obras Públicas y Grado en Ingeniería Civil.

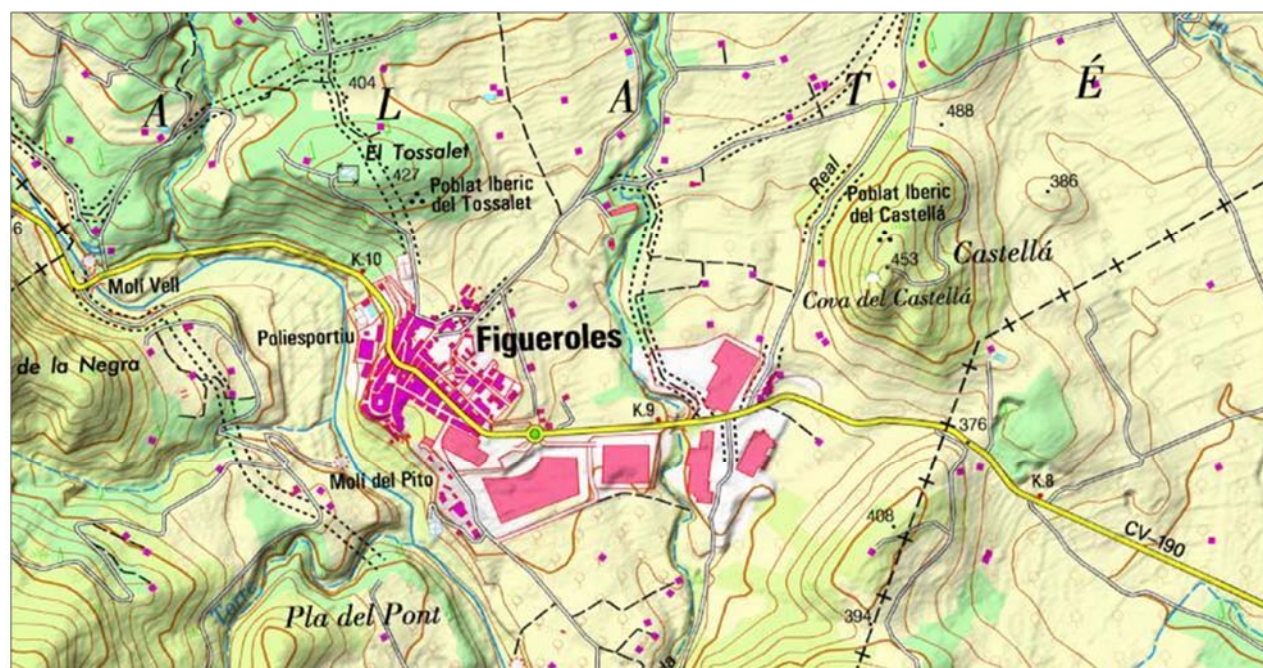


Fig. 2. Localización de la población

Como el título indica se trata de estudiar las alternativas al trazado de la actual carretera CV-190. Este estudio se justifica en que el trazado existente atraviesa la población de Figuerles. A las molestias que esto supone se añade el peligro de su elevado tráfico de vehículos pesados como consecuencia de la actividad de las industrias azulejeras de la zona.

Para resolver esta situación se ha establecido como objetivo general el estudio de tres alternativas distintas a la variante de la carretera CV-190, denominadas alternativa sur, centro y norte. El objetivo concreto de este documento es estudiar la geología del corredor

en su conjunto y, específicamente, de cada una de las tres alternativas planteadas, así como analizar y resolver los problemas geotécnicos que presentan cada una de ellas.

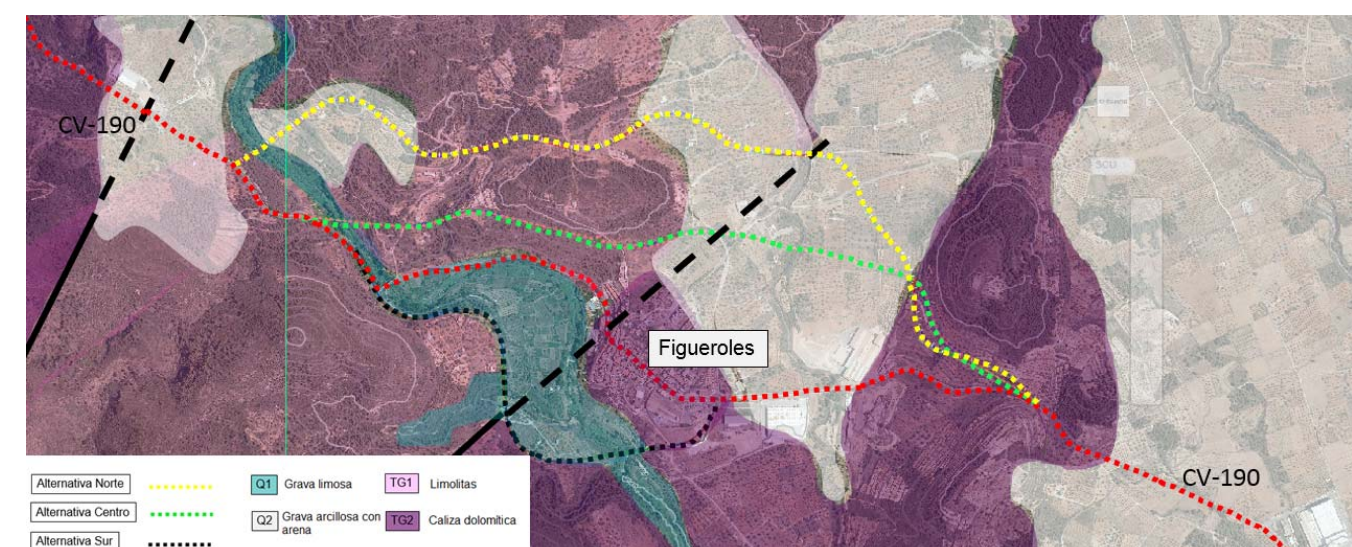


Fig. 3. Mapa geológico

La metodología de trabajo empleada ha constado de varias fases. La primera de ellas ha consistido en una recopilación de información exhaustiva sobre la zona de trabajo y sobre los datos básicos del proyecto. La segunda fase ha sido la visita al área en estudio; en total se han realizado tres visitas. La tercera y última fase ha consistido en el análisis de los datos recopilados en las dos fases anteriores y en el establecimiento de las conclusiones y recomendaciones necesarias desde el punto de vista de la ingeniería geotécnica.

Este documento se centra en conocer la litoestratigrafía del entorno y las características geomecánicas de los materiales afectados por las distintas alternativas. Para cada alternativa se ha elaborado un perfil con el inventario de puntos singulares desde el punto de vista geotécnico y se han establecido recomendaciones de actuación en los casos más interesantes.



5.2. Hidrología y drenaje

El estudio hidrológico se ha extendido a las cuencas vertientes a la traza de la variante CV-190 a su paso por Figuerols (Castellón), con el objetivo de estimar los caudales de crecidas en los puntos de desagüe a dicha traza. Estos caudales han sido obtenidos tanto para el cauce principal como para sus afluentes a fin de poder dimensionar y estudiar las obras de drenaje transversal y longitudinal, aplicando diferentes niveles de probabilidad.

Como consecuencia de la falta de aforos directos en la zona de interés, el estudio hidrológico se ha realizado mediante métodos hidrometeorológicos a fin de determinar los caudales de avenida y sus hidrogramas asociados, a partir de valores extremos de precipitación, mediante la simulación del proceso precipitación-escorrentía. En el “Anejo estudio hidrológico y drenaje transversal” se desarrolla la metodología empleada, la justificación de los valores empleados así como los cálculos realizados. A continuación se muestra una síntesis del trabajo realizado en dicho anejo.

- Caracterización de la cuenca.

La caracterización del sistema se ha realizado gracias al uso de los softwares AUTOCAD CIVIL 3D y ARCGIS, con el uso de la información descrita en el Anejo 2. Con ello se ha identificado el sistema hidrológico y sus características hidromorfológicas, este sistema se ha dividido, por los motivos mencionados en el anejo, en cuatro subcuencas y tres intercuencas, donde la subcuenca del río Lucena se ha dividido a su vez en otras cuatro subcuencas a fin de modelar pseudodistribuido. En el sistema hidrológico identificado anteriormente se ha obtenido el parámetro de producción de escorrentía, para ello ha sido necesario el estudio de la tipología de suelo según el SCS, para lo cual se ha identificado la capacidad del uso del suelo, además de sus características lito-edaforológicas. Una vez analizado la tipología de suelo se ha estudiado las cubiertas de suelo existente en la zona. Con estos dos datos se ha obtenido el umbral de escorrentía en cada una de las zonas del sistema hidrológico y mediante una ponderación areal se han alcanzado los valores promedio de cada una de las subcuencas.

Parámetro	S1-A	S1-B	S2	S3	SC1	SC2	IC2-3	SC3	SC4	SC5
Superficie aprox. (m ²)	17920884.2	36743625.3	19162876.2	24143510.0	11101.9	476677.5	259643.3	3372123.6	447452.1	113180.8
Long. Rec. Ppal aprox. (km)	4.498	19.371	10.357	11.9956304	1.03465	1.53006	1.9022	4.97217	3.36393	0.315008
cota cabecera (msnm)	1320	1690	1065	978.6	560	610	440	704	422	420
cota desagüe (msnm)	902	458.5	458.5	349.3	388.5	375	394.4	370.8	362.8	373.4
Pendiente media Rec. Ppal aprox. (m/m)	0.09	0.06	0.06	0.05	0.17	0.15	0.02	0.07	0.02	0.15
Tiempo de concentración aprox. (h)	1.5	4.8	3.0	3.5	0.4	0.6	1.0	1.7	1.6	0.18
P0	43.6	27.9	37.0	37.4	56.4	45.6	59.0	42.3	66.5	64.2
Tlag	0.7	2.2	1.4	1.6	0.2	0.3	0.4	0.8	0.7	0.1

Tabla 1 Caracterización de las subcuencas del sistema hidrológico.

- Análisis estadístico.

Este análisis tiene como objetivo obtener los cuantiles de precipitación diaria máxima anual correspondiente a distintos períodos de retorno, para lo cual ha sido necesario el uso de las precipitaciones diarias máximas anuales. A fin de poder realizar este análisis ha sido necesario emplear las series diarias de acumulados de precipitación de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) procedente de 4 estaciones localizadas al sur, oeste, norte y este del sistema hidrológico, por lo que se puede asegurar que se dispone información de todas las vertientes de la cuenca. Siendo las siguientes estaciones las utilizadas: Alcora (sur), Zucaina (oeste), Lucena del Cid (Norte) y Adzaneta (este).

Para la obtención de los cuantiles ha sido necesario realizar ajustes locales a las series de máximos anuales de cada estación con las siguientes funciones de distribución: Gumbel, SQRT-ETmax, GEV, y TCEV, utilizando un ajuste paramétrico de máxima verosimilitud en todas ellas. Como consecuencia del número de estaciones empleadas así como su longitud efectiva, además de del hecho de que todas las cuencas a excepción de la subcuenca del Lucena están afectadas únicamente por la estación de Alcora, hace innecesario la incorporación del análisis regional.

Por los motivos desarrollados en el Anejo 2 se ha decidido seleccionar los siguientes modelos estadísticos para cada una de las estaciones con los siguientes cuantiles de precipitación diaria máxima, mostrados en la siguiente tabla.

Nombre Estación	Modelos estadísticos	T 10	T 25	T 100	T 200	T 500
ZUCAINA	TCEV ML	95.4	121.1	295.7	435.6	620.2
ADZANETA DEL MAESTRAT	SQRT ML	129.3	164.4	223.1	255.4	300.9
LUCENA DEL CID	GUMBEL ML	103.6	123.7	153.5	168.3	187.7
ALCORA	GUMBEL ML	116.1	119.3	147.8	162.1	180.7

Tabla 2 Cuantiles de precipitación diaria máxima para cada una de las estaciones de estudio

- Modelo lluvia escorrentía.

En primer lugar y dado las características de la subcuenca del Lucena se ha analizado el modelo más apropiado de transformación lluvia escorrentía, para ello se ha procedido a modelar tanto pseudodistribuido como agregada dicha cuenca, utilizando una modelación por convolución de hidrograma unitario y tormenta por bloques. Para ello se ha sido la caracterización de la cuenca de la misma forma que se había realizado con las otras subcuencas, obteniendo sus características



hidromorfológicas y su parámetro de escorrentía. Además ha sido necesario definir los criterios para la obtención de cada una de las tormentas de diseño. Finalmente se ha obtenido que los resultados son lo suficientemente concluyentes como para proceder a modelar pseudodistribuida en todo el sistema hidrológico.

Una vez decido el modelo a emplear se deben definir nuevamente los criterios utilizados en la modelación. Estos son por una parte las tormentas de diseño, en este caso teniendo en cuenta que en este caso existen subcuencas con dimensiones menores a la del Lucena por lo que su discretización temporal también lo debe ser. Además de incluir el estudio de la humedad antecedente a fin de afinar el umbral de escorrentía obtenido anteriormente. En él se concluye que más del 90% de los eventos analizados en las estaciones de Valencia, Teruel y La Cueva de Arruza ocurrieron en condiciones secas por lo que parece razonable incrementar el umbral de escorrentía del sistema aplicando condiciones secas, según lo estipulado por el SCS. Por último se ha analizado otros criterios como el tiempo de desfase a la punta, su discretización temporal o su parámetro de escorrentía.

Con ello obtenemos los siguientes resultados.

T10	S.LUCENA	SC1	SC2	IC2-3	SC3	SC4	SC5
Qp (m3)	86.4	0.004	0.5	0.08	3.2	0.07	0.02
V (Hm3)	1.231	0.0000429	0.00366	0.000832	0.0312	0.000778	0.000241
T25	S.LUCENA	SC1	SC2	IC2-3	SC3	SC4	SC5
Qp (m3)	136.2	0.005	0.6	0.09	3.5	0.08	0.03
V (Hm3)	1.847	0.000491	0.00852	0.00371	0.0342	0.000942	0.000287
T100	S.LUCENA	SC1	SC2	IC2-3	SC3	SC4	SC5
Qp (m3)	371.3	0.02	1.4	0.3	7.5	0.3	0.03
V (Hm3)	4.747	0.000117	0.00803	0.00244	0.0650	0.00293	0.000287
T200	S.LUCENA	SC1	SC2	IC2-3	SC3	SC4	SC5
Qp (m3)	577.6	0.03	2.0	0.4	9.9	0.4	0.2
V (Hm3)	7.177	0.000159	0.0104	0.0107	0.0827	0.0153	0.119
T500	S.LUCENA	SC1	SC2	IC2-3	SC3	SC4	SC5
Qp (m3)	876.6	0.04	2.8	0.6	13.5	0.6	0.3
V (Hm3)	10.689	0.000223	0.0137	0.00477	0.108	0.00631	0.00173

Tabla 3 Hidrogramas de crecida

- Drenaje.

La construcción de la variante CV-190 a su paso por el municipio de Figueroles, produce una interrupción a la propagación de la escorrentía superficial, obligando a estudiar y dimensionar la construcción de obras de drenaje que sean capaces de encauzar la escorrentía superficial producida, además de ser capaces de dar continuidad a los cauces del sistema.

La construcción de las obras de drenaje tiene dos objetivos, por una parte, recoger la escorrentía superficial que se produce en el sistema hidrológico, incluyendo la producida en la plataforma de la variante de estudio así como la que se produce en todas las subcuencas que se han definido y estudiado a lo largo del estudio hidrológico. Además de dar continuidad a la parte de la escorrentía que viene encauzada. Ambos objetivos deben cumplir su función hidráulica para los periodos de retorno definidos.

Para su dimensionamiento se ha analizado la escorrentía superficial producida sobre la plataforma de la variante así como en el sistema hidrológico. Con estos caudales se ha procedido a dimensionar en régimen estacionario unidimensional todas las obras de drenaje. Complementariamente se ha comprobado el buen funcionamiento de las obras de drenaje transversal para la crecida del río Lucena para periodo de retorno 100 años, cuya confluencia estas aguas abajo de la obra de drenaje.

El dimensionamiento finalmente definido para cada uno de los elementos del drenaje es el siguiente.

Código de elemento	Margen	P.K (Inicio-Fin)	Tipología	Dimensiones	Pendiente	Material
C1MD	Derecha	2+660-3+110	Trapezoidal	b=0,3 / h=0,4	0,01	Hormigón
C1MI	Izquierda	2+660-3+111	Trapezoidal	b=0,3 / h=0,4	0,01	Hormigón
C2MD	Derecha	2+280-2+540	Trapezoidal	b=0,3 / h=0,4	0,02	Hormigón
C2MI	Izquierda	2+280-2+541	Trapezoidal	b=0,3 / h=0,4	0,02	Hormigón
C3MD	Derecha	2+280-1+529	Trapezoidal	b=0,2 / h=0,7	0,05	Hormigón
C3MI	Izquierda	2+280-1+530	Trapezoidal	b=0,2 / h=0,7	0,05	Hormigón
C4MD	Derecha	0+635-1+071	Trapezoidal	b=0,3 / h=0,4	0,01	Hormigón
C4MI	Izquierda	0+635-1+072	Trapezoidal	b=0,3 / h=0,4	0,01	Hormigón
C5MD	Derecha	0+635-0+000	Trapezoidal	b=0,3 / h=0,4	0,05	Hormigón
C5MI	Izquierda	0+635-0+001	Trapezoidal	b=0,3 / h=0,4	0,05	Hormigón
C6MD	Derecha	1+529-1+071	Trapezoidal	b=0,3 / h=0,4	0,03	Hormigón
C6MI	Izquierda	1+529-1+072	Trapezoidal	b=0,3 / h=0,4	0,03	Hormigón
ODT1	Transversal	1+529	Marco	b=2 / h=2	0,002	Hormigón
ODT2	Transversal	1+071	Tubería	D=0,8	0,003	Hormigón

Tabla 4. Obras de drenaje transversal

En el caso de los dos puentes, situados sobre los dos cauces principales, se ha estudiado la capacidad del propio trazado de transportar el caudal producido por la escorrentía superficial de la plataforma, sin la necesidad de construir una cuneta como tal. Para asegurar la posibilidad de conducir el agua nuevamente a estos cauces principales se ha propuesto colocar orificios en cada pila con una dimensión de 50 mm.

5.3. Análisis del tráfico

Se ha estimado el tráfico existente en la travesía actual, así como el que circularía por la variante objeto de estudio. Para ello, el trabajo se ha apoyado en la información extraída de aforos en la zona, extrapolado mediante la utilización de estaciones de aforo afines.

Para el análisis del tráfico actual, se ha ejecutado una campaña de aforo manual de placas de matrícula, estimando el tráfico futuro en la nueva carretera objeto del proyecto con apoyo de una estación afín, y posteriormente calculando la capacidad y el nivel de servicio de dicha vía.

Con el fin de reducir la incertidumbre asociada a los diferentes parámetros empleados, se ha realizado un análisis de sensibilidad.

Problemática:

La travesía de Figueroles tiene un tráfico de camiones elevado, ya que es una zona de industria y el camino natural de la carretera CV-190 pasa por la localidad. Para evitar ese tráfico de paso, se proyecta una variante que bordeará la localidad por la zona norte.

Toma de datos inicial. Campaña de aforo manual de placa de matrícula:

Para caracterizar correctamente el tráfico que discurre por la carretera actual y definir los futuros movimientos que realizarán los vehículos, se ha procedido a realizar un aforo manual de placas de matrícula.

La campaña de aforo planteada tiene como objetivos los siguientes:

- Cuantificar la intensidad de vehículos que circulan en la CV-190 a su paso por la localidad de Figueroles.
- Identificar los diferentes movimientos que realizan los vehículos, así como la intensidad de cada uno.
- Tasar el número de vehículos pesados.

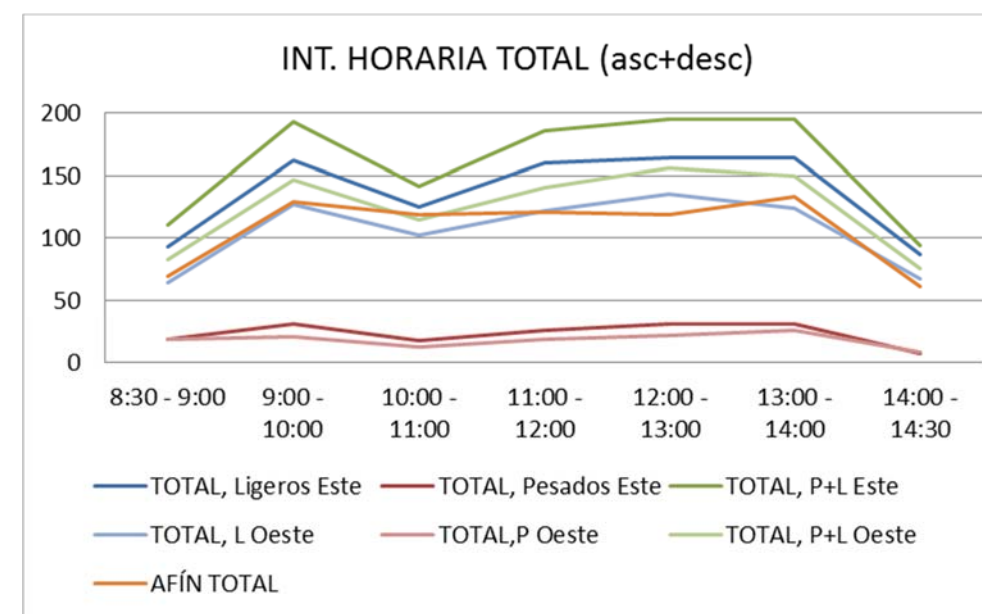


Fig. 4. Evolución de la intensidad horaria en las 6 horas de la campaña

Estaciones afines:

Para realizar este anejo se estudiaron varias posibles estaciones cercanas a la zona de Figueroles, pasando el primer filtro dos de ellas, las más cercanas a la localidad. Se decidió por estas dos estaciones al encontrar una gran similitud en las curvas de evolución de la intensidad de tráfico. Estas son la 190020 sita en la propia CV-190 y la 165010 de la CV-165.

Finalmente se decide escoger la estación 190020 (CV-190, PK 13+500) ya que entre la misma y Figueroles no entronca ninguna carretera, al contrario que la 165010, que entre ella y la población se unen la CV-190 y la CV-165, pudiéndose, por tanto, desviar el tráfico en esa zona.

Metodología de trabajo y cálculo de la IMD:

Para estimar la IMD que se utilizará en los cálculos, es necesario definir unos coeficientes relacionados con la estación afín para, posteriormente, aplicarlos a los aforos manuales realizados:



ESTACIÓN AFÍN (190020)				
INTENSIDADES TOTALES			FACTOR F	
I _{6h,l}	760	veh/h		
I _{24h,l,en}	1.736	veh/h	F _{24/6}	2,28
IMD	1.871	veh/h	F _{IMD/6}	2,46

Tabla 5. Coeficientes de correlación según la estación 190020

Los distintos movimientos de tráfico se han agrupado en matrices Origen-Destino, confeccionadas para clarificar los flujos entre los diferentes puntos de la red analizados.

AÑO HORIZONTE			
O/D	Esta. A	Esta. B	Figueroles
Estación A	-	1.309	751
Estación B	1.182	-	239
Figueroles	674	312	-

Tabla 6 Matriz O-D del tráfico la zona de estudio. Año 2040 (Puesta horizonte)

Prognosis del tráfico:

Para estimar la variación anual del tráfico hasta el año horizonte, el Ministerio de Fomento redactó la Orden FOM/3317/2010, en la cual se indica que se apliquen los factores siguientes:

Período	Incr. anual acum.
2010-2012	1,08 %
2013-2016	1,12 %
=>2017	1,44 %

Tabla 7. Porcentajes de incremento anual¹

Capacidad:

El Highway Capacity Manual 2010 define unas condiciones ideales gracias a las cuales la capacidad de la vía es máxima. Para el caso que nos ocupa, carreteras de dos carriles y doble sentido de circulación, son las siguientes:

- Anchura de carriles de 3,6 m.
- Anchura de arcén de 1,8 m.
- Sin accesos a las propiedades colindantes.
- Terreno llano o con inclinaciones menores al 2%.
- Tráfico formado únicamente por vehículos ligeros.
- Sin tramos de prohibición de adelantamiento.
- Reparto de tráfico entre los dos sentidos de 50% / 50%.

Según estas condiciones ideales se consigue una capacidad máxima de 3.200 veh/hora, siempre y cuando por sentido no se superen los 1.700 veh/hora.

Nivel de Servicio:

El nivel de servicio es una estimación cualitativa de las condiciones de circulación. Para ello se tiene en cuenta varios factores y su efecto en dichas condiciones, como son velocidad, tiempo de recorrido, seguridad, comodidad y costes.

Dependiendo de las condiciones del tráfico y características de la infraestructura, el nivel de servicio se calcula de una forma distinta. En este estudio se aplica el método que describe el HCM 2010 en flujo libre para carreteras de dos carriles y doble sentido de circulación.

La carretera objeto del proyecto, que se ha considerado con un solo tramo por sus idénticas características a lo largo de toda ella, se puede clasificar como de tipo II. Se caracteriza por discurrir en terreno accidentado, con un elevado número de accesos tanto a propiedades colindantes como a caminos, y donde los conductores no esperan conducir a velocidades elevadas.

Dependiendo de la Clase de carretera se determinan unos rangos para los parámetros de desempeño. Son los siguientes:

¹ Orden FOM/3317/2010. Ministerio de Fomento.

NIVELES DE SERVICIO DE CARRETERAS DE DOS CARRILES				
NIVEL DE SERVICIO	CLASE I		CLASE II	CLASE III
	% TC	Vm (km/h)	%TC	%VEL.LIBRE
A	≤ 35	> 90	≤ 40	> 91,7
B	> 35 - 50	> 83 - 90	> 40 - 55	> 83,3 – 91,7
C	> 50 - 65	> 75 - 83	> 55 - 70	> 75,0 – 83,3
D	> 65 - 80	> 65 - 75	> 70 - 85	> 66,7 – 75,0
E	> 80	≤ 65	> 85	≤ 66,7
F	Cuando se excede la capacidad			

Tabla 8. Niveles de servicio para carreteras de dos carriles

A partir de los datos de entrada y de la formulación propuesta se llega a un porcentaje de tiempo en cola determinado. Al tratarse de una carretera de clase II, únicamente se necesita ese dato para definir el nivel de servicio de la misma.

AÑO HORIZONTE		2040
Intensidad media diaria	IMD	2.491
IMD sentido directo	IMDd	1.309
IMD sentido opuesto	IMDo	1.182
% de Tiempo en Cola	PTSF _d	49,38
Nivel de servicio	NS	B

Tabla 9. Nivele de servicio para el año horizonte

Análisis de sensibilidad. Método Monte Carlo:

Como último punto, en este estudio se ha realizado un análisis de sensibilidad basado en una simulación de Monte Carlo.

La técnica de Monte Carlo se basa en simular la realidad a partir de una muestra generada de forma aleatoria. La aplicación de esta técnica resulta muy útil cuando nos enfrentamos a situaciones en las que no es posible obtener una información satisfactoria o cuando el experimento no es viable o muy costoso.

Este modelo de simulación pretende representar una realidad simplificada a partir de las variables reales y las relaciones fundamentales entre ellas, consiguiendo de esta forma una sustitución de la situación real por otra teórica partiendo de números aleatorios en un número concreto de iteraciones.

Para aplicar esta metodología al estudio que nos ocupa, se ha seguido las siguientes pautas:

- Variables a simular: Porcentaje de vehículos del flujo de la CV-190 que se desviarían hacia la carretera objeto del estudio.
 - Sentido directo: 72,13%
 - Sentido opuesto: 73,45%
- Se supone una desviación típica de 12%.
- Función de distribución: Distribución acumulativa normal para la media y la desviación típica dadas. Para ello se ha utilizado la función *INV.NORM (probabilidad, media, desviación típica)* de Microsoft Excel.
- Posteriormente se aplica el porcentaje obtenido a la IMD de entrada a la intersección y se calcula el nivel de servicio de la misma para todos y cada uno de los elementos de la muestra.

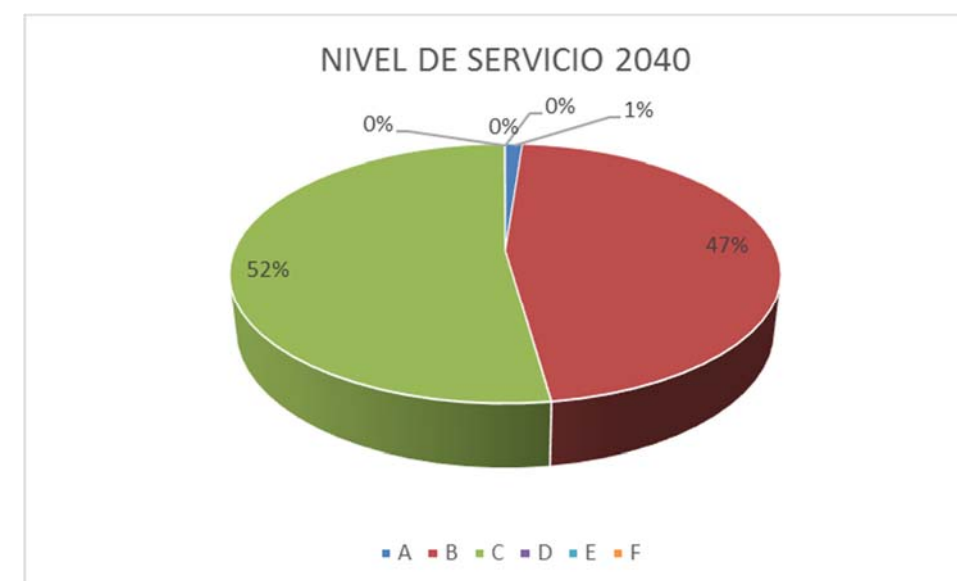


Fig. 5. Niveles de servicio obtenidos mediante análisis de sensibilidad



5.4. Diseño geométrico

Para el diseño geométrico de la variante se ha empleado la siguiente normativa:

- Norma 3.1-IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras.

La carretera objeto del proyecto es de calzada única con un carril de circulación por sentido, clasificándose como carretera convencional C-60.

Para su dimensionamiento, se ha establecido una velocidad de proyecto de 60 km/h.

La cartografía empleada se ha obtenido del Instituto Geográfico Nacional, complementada con los datos del Modelo Digital del Terreno del LIDAR.

El diseño de la alternativa se ha realizado mediante AutoCAD Civil 3D 2015.

La sección transversal es de la variante es la siguiente:

- Ancho de carril de circulación: 3, m
- Ancho de arcén: 1 m
- Berma: 0,75 m

5.4.1. Trazado en Planta

Tipo	P.K. inicial	P.K. final	Longitud (m)	Acimut (g)	R (m)	A
Recta	0+000.00	0+152.94	152.940	334,085	Infinito	
Clotoide	0+152.94	0+223.02	70.083			145
Círculo	0+223.02	0+307.32	84.299		300	
Clotoide	0+307.32	0+377.41	70.083			145
Recta	0+377.41	0+382.87	5.462	360,5698	Infinito	
Clotoide	0+382.87	0+458.66	75.789			120
Círculo	0+458.66	0+513.67	55.016		190	
Clotoide	0+513.67	0+589.46	75.789			120
Recta	0+589.46	0+673.94	84.476	324,1246	Infinito	
Clotoide	0+673.94	0+728.94	55.000			110
Círculo	0+728.94	0+858.13	129.194		220	
Clotoide	0+858.13	0+913.13	55.000			110
Recta	0+913.13	1+153.09	239.961	372,0953	Infinito	
Clotoide	1+153.09	1+238.43	85.333			160
Círculo	1+238.43	1+374.57	136.140		300	
Clotoide	1+374.57	1+459.90	85.333			160
Recta	1+459.90	1+909.47	449.570	329,7969	Infinito	
Clotoide	1+909.47	1+994.80	85.333			160
Círculo	1+994.80	2+005.67	10.864		300	
Clotoide	2+005.67	2+091.00	85.333			160

Recta	2+091.00	2+363.20	272.195	311,4246	Infinito	
Clotoide	2+363.20	2+423.29	60.096			125
Círculo	2+423.29	2+448.53	25.236		260	
Clotoide	2+448.53	2+508.62	60.096			125
Recta	2+508.62	2+670.84	162.212	272,62	Infinito	
Clotoide	2+670.84	2+726.39	55.556			100
Círculo	2+726.39	2+833.17	106.783		180	
Clotoide	2+833.17	2+888.73	55.556			100
Recta	2+888.73	2+974.31	85.580	344,294	Infinito	
Clotoide	2+974.31	3+029.89	55.577			85
Círculo	3+029.89	3+106.10	76.209		130	
Clotoide	3+106.10	3+161.67	55.577			85
Recta	3+161.67	3+449.23	287.561	266,2109	Infinito	

5.4.2. Trazado en Alzado

	P.K. Inicial	P.K. Final	Vértice	Elevación (m)	Inclinación	Cambio de pendiente	Kv	Longitud (m)
Inicio				350,197				
Recta	0+000.00	0+433,32			5,12%			
Convexo	0+433,32	0+539,54	0+486,43	375,101				
Recta	0+486,43	0+539,54			-1,25%	6,37%	16664	106,220
Cóncavo	1+029,02	1+119,60	1+074,31	367,727				
Recta	1+119,60	1+969,02			2,53%	3,79%	23926	90,587
Cóncavo	1+969,02	2+033,81	2+001,42	391,198				
Recta	2+033,81	2+232,94			4,54%	2,01%	32235	64,793
Convexo	2+270,76	2+308,58	2+270,76	403,431				
Recta	2+308,58	2+709,30			-2,09%	6,63%	11403	75,637
Cóncavo	2+709,30	2+850,81	2+780,05	392,779				
Recta	2+850,81	3+453,67			-0,54%	1,56%	90981	141,506
Final				389,167				

Tabla 10. Estado de alineaciones

5.5. Diseño de los nudos

El anejo desarrolla la solución a los nudos que ocasiona la construcción de la variante norte de la CV-190 al paso por el municipio de Figueroles.

Se estudian en profundidad las diferentes alternativas existentes para resolver los dos principales nudos que se presentan en la variante a construir, este y oeste.

Así mismo se da solución a los caminos afectados por la construcción de la variante.

-El nudo este distribuye la circulación entre la CV-190 (sentido Castellón), la variante realizada en este proyecto y la entrada oriental del pueblo de Figueroles.

-El nudo oeste por el contrario es el encargado de conectar la CV-190 (sentido Lucena), la variante de esta carretera a su paso por el pueblo y la entrada occidental al pueblo de Figueroles.

Se busca la forma más objetiva posible para la valoración de las diferentes alternativas, para ello se hará uso de estudios de capacidad, análisis de funcionalidad, simulaciones de trayectoria de los vehículos más conflictivos o encuestas que permitan dar unos pesos adecuados a cada uno de los parámetros existentes en todo nudo.

COSTE ECONÓMICO	26,7
IMPACTO AMBIENTAL	13,9
SEGURIDAD VIAL	30,6
FUNCIONALIDAD	27,2

Tabla 11. Tabla pesos asignados a cada parámetro de decisión

Resultados análisis multicriterio			
Este		Oeste	
Glorieta	330	Glorieta	394
Glorieta giro directo	262	Intersección en T	278
Intersección en T	393		

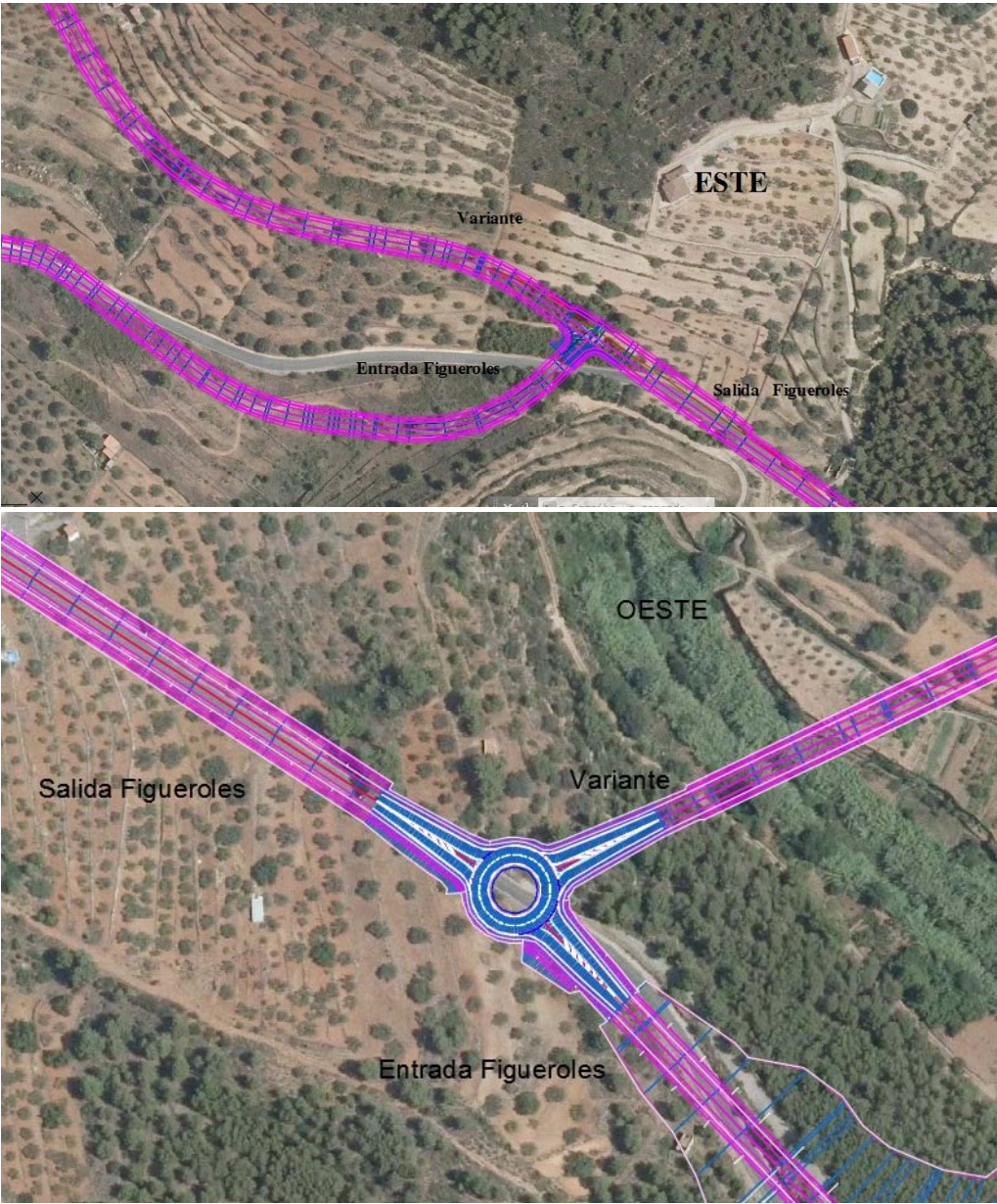


Fig. 6. Nudo este y Nudo oeste con obra lineal

5.6. Análisis de Seguridad Vial

El objeto de este anejo es el de reducir en la medida de lo posible, si no eliminar, los posibles problemas de seguridad vial -y accidentes- que pueda tener la carretera objeto del proyecto. Para ello se analiza tanto el trazado en planta, en alzado como la sección transversal.

Para conseguir el objetivo se ha estudiado varias alternativas, adaptando la elegida de forma iterativa hasta llegar a la solución final de compromiso. Para ello, en primer lugar se ha dividido en tramos homogéneos, en este caso uno solo, se ha estimado la velocidad de operación del trazado, se ha estudiado la visibilidad tanto de adelantamiento como de parada en todo él y se ha analizado mediante métodos de comprobación de la consistencia, tanto de los elementos como del conjunto de la carretera. Además, se ha comparado la siniestralidad actual de la carretera con la estimación de accidentes en la variante y se han concretado distintos elementos que refuerzan la seguridad vial.

Tramificación:

Para poder diseñar carreteras de forma eficiente, se hace imprescindible dividirla en tramos dentro de los cuales tenga características similares. En cada uno de ellos se establece una velocidad de proyecto distinta ya que sus características de funcionalidad, tráfico geometría y operación son distintas. A cada uno de estos tramos se le aplica por separado una Safety Performance Function, La norma 3.1-IC de la Instrucción de Carreteras habla de tramos homogéneos, y que deben tener una longitud mayor de 2 kilómetros.

En nuestro caso, y como se puede apreciar en el gráfico siguiente, ninguno de los tramos cumple la última condición, por lo que se considerará compuesto por un único tramo.

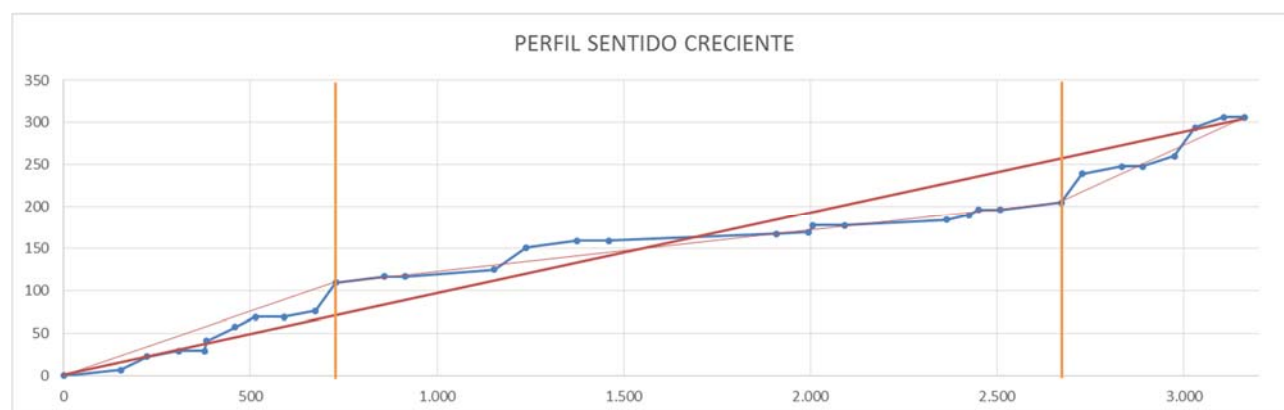


Fig. 7. Gráfico de tramificación según el método alemán

Perfil de velocidad de operación:

Tras aplicar la formulación, se ha estimado un perfil de velocidad de operación. Cabe indicar que para coordinar el nuevo trazado con la CV-190 se ha estudiado la transición entre las dos, incluyendo en el estudio parte de la carretera antigua.

En el extremo este, el estudio considera el radio de la curva de entrada y modificando la recta actual por una más corta, ampliando la antigua curva y aumentando el radio de la misma para que la transición se más suave.

Análisis de la visibilidad:

Se ha analizado y comparado los siguientes conceptos.

- Visibilidad de parada vs Distancia de parada
- Visibilidad de adelantamiento vs Distancia de adelantamiento

Consistencia:

A partir de las características de la geometría de la vía el usuario de la misma se genera unas expectativas, existiendo las asociadas a su experiencia -a priori- o las que se refieren a las que se van generando cuando se recorre la vía -ad hoc-.

Las expectativas creadas se deberían cumplir en todo el tramo, evitando así sorpresas y pudiendo causar accidentes al influir en el factor humano, ese es el objetivo de la consistencia. Cabe indicar que los factores que influyen en la generación de accidentes son el humano, la infraestructura y el vehículo.

La consistencia es la relación entre las expectativas del usuario de la vía y las características de la misma, si se ajustan las dos, será alta, y si difieren entre ellas, será baja y existirá un riesgo de accidente mayor.

Criterios de consistencia locales:

- Criterio I. Compara la velocidad de operación con la media de las velocidades de operación.
- Criterio II. Compara la velocidad de operación entre elementos consecutivos del trazado.

Criterios de consistencia globales.



Estudio de la siniestralidad:

Un accidente es un suceso que se produce de forma imprevista y que produce un perjuicio alterando el curso Natural, un accidente de tráfico es aquél que ocurre en la vía pública y está implicado un vehículo en circulación. Es necesario estudiar las causas y consecuencias de los siniestros para evitarlos o controlarlos.

Los accidentes de tráfico son:

- Raros, ya que tienen baja frecuencia.
- Aleatorios, ya que varían mucho sin seguir una distribución concreta.
- Discretos, al ser enteros no negativos.

Se obtiene los accidentes con víctimas registrados entre 1997 y 2011 en la CV-190 entre los PK 8+000 y 10+700, la zona objeto del estudio.

Los accidentes con víctimas en 10 años se resumen en la siguiente tabla:

acv/10 años	
1997 - 2007	12
1998 - 2008	12
2000 - 2010	11

Tabla 12. Accidentes con víctimas en 10 años ocurridos en la zona de estudio

En este estudio de seguridad vial se va a estimar los accidentes con víctimas en 10 años mediante la Safety Performance Function que tiene en cuenta la consistencia propuesta por Camacho et al. (2013) adaptada a las carreteras convencionales de la Comunidad Valenciana y aplicable a tramos homogéneos.

Elementos de seguridad vial:

Para finalizar el estudio se analizan los siguientes ítems:

- Accesos y pasos sobre cunetas
- Elementos de drenaje
- Sistemas de contención
- Elementos moderadores de la velocidad
- Otros elementos de seguridad

5.7. Diseño del Firme

Para el diseño de la explanada y las secciones de firme se ha empleado la siguiente normativa:

- Norma 6.1-IC Secciones de Firme, de la Instrucción de Carreteras.
- Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, PG-3

Para la IMDp de la variante en el año de puesta en servicio, la Norma clasifica el tráfico pesado previsto como T31.

5.7.1. Categoría de la Explanada

El trazado de la variante transcurre por dos tipos de terrenos: por un lado tenemos un terreno formado por limolitas y por otro, uno compuesto por gravas arcillosas con arena y gravas limosas.

En el caso de las gravas se formará una explanada E2 sobre suelo tolerable.

Para las limolitas se puede formar una E3 sobre un lecho de hormigón de limpieza. Puesto que esta solución probablemente solo sea viable económicamente en los tramos en los que el trazado transcurre totalmente en desmante con una longitud suficiente. En el resto de tramos sobre limolitas se realizará una explanada de categoría E2.

En el caso de la explanada E2, se opta por formar una explanada compuesta por una capa de Suelo Estabilizado 1 de 25 centímetros con otra capa superior de Suelo Estabilizado 2 de 25 centímetros ya que el terreno que encontramos en la zona permite su estabilización in-situ con cemento.

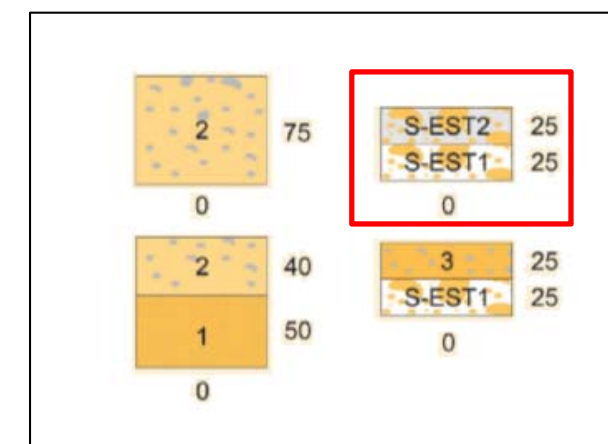


Fig. 8. Tipos de explanada

En el caso de la explanada E3, se colocará una capa de hormigón de limpieza HM-20 de 10 centímetros de espesor y, sobre ella, el paquete de firmes.

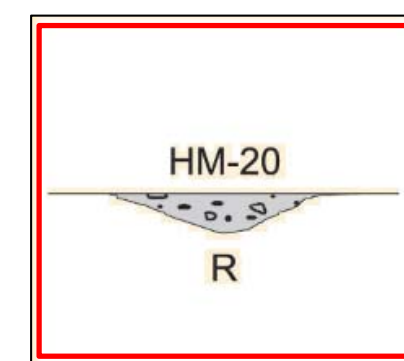


Fig. 9. Croquis HM-20

5.7.2. Secciones de Firme

En el caso de la explanada E2, se realizará el firme 3121, formado por una capa de al menos 40 centímetros de zahorra artificial sobre la que se colocará un paquete de mezcla bituminosa de al menos 16 centímetros (figura 4).

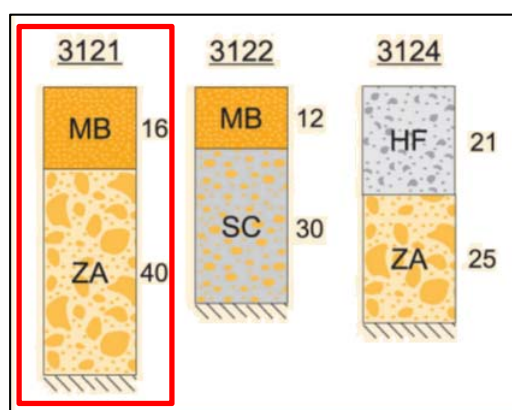


Fig. 10. Sección de firme 3121

En el caso de la explanada E3, se colocará el firme 3131, compuesto por una capa de como mínimo 25 centímetros de zahorra artificial sobre la que se colocará un paquete de mezcla bituminosa de al menos 16 centímetros (figura 5).

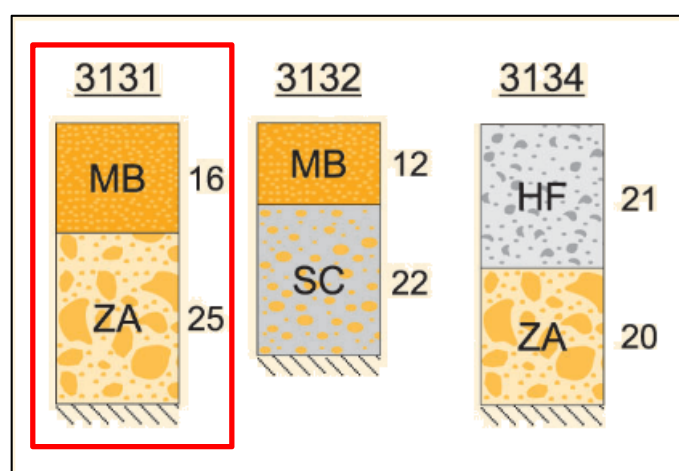


Fig. 11. Sección de firme 3131

5.7.2.1. Espesores de las capas de mezcla bituminosa

Por la sección escogida, se deberá disponer de una capa de mezcla bituminosa de, al menos, 16 centímetros. Los espesores quedan determinados de la siguiente manera, en orden descendente:

- Capa de Rodadura: Mezcla bituminosa en caliente (D y S) de 5 centímetros de espesor.
- Capa intermedia: Mezcla bituminosa en caliente (D y S) de 5 centímetros de espesor.
- Capa de base: Mezcla bituminosa en caliente (S) de 10 centímetros de espesor.

Para su elaboración se emplearán los siguientes tipos de mezclas bituminosas, según lo establecido en el artículo 542.3 del PG-3:

- Capa de Rodadura: AC16 surf S.
- Capa intermedia: AC22 bin S.
- Capa de base: AC32 base S.

5.7.2.2. Riegos

Para la sección de firme escogida, deberán realizarse riegos de adherencia entre las capas de rodadura e intermedia, y la capa intermedia y base. Asimismo, deberá realizarse un riego de imprimación entre la capa de base y la capa de zahorra artificial.

Para los riegos se emplearán las siguientes emulsiones catiónicas, según lo recogido en el artículo 214.3 del PG-3:

- Riegos de Adherencia: C60B2 ADH
- Riegos de Imprimación: C60BF4 IMP

5.7.3. Arcenes

Según lo establecido en la Norma 6.1-IC, el paquete de firme en los arcenes será prolongación del firme de la calzada adyacente por motivos constructivos, al tener el arcén una anchura menor a 1.25 metros.

5.8. Cálculo estructural

Puente centro de trazado

Con el fin de salvar la orografía en el paso de la alternativa norte por el barranco al Este de Figuerols [PK-2+499,32;PK-2+651,62] se ha procedido al diseño y dimensionamiento del puente que a continuación se describe.

El puente esta formado por cuatro vanos de 38 m de longitud cada uno alcanzando una luz total del puente de 152,3 m.

La obra consta de un tablero de 10 m de ancho según normativa (3.1 IC), dividido en dos carriles (uno por sentido) de 3,5 metros cada uno, para una velocidad de proyecto 60 Km/h, dos arcenes de un metro cada uno y un sobre ancho de medio metro por cada lado sin pavimentar, cuya función es albergar los pretilos (PMC2/10d). Esta formado por cuatro vigas prefabricadas, de 1,9m de canto unidas entre ellas por una losa de hormigón “in situ” de 25 cm de espesor, sobre la que apoya una capa de rodadura de 10 cm. Se ha dispuesto a ambos laterales pretilos de una altura de 1,19 m.

Las vigas apoyarán sobre los capiteles a través de un apoyo de neopreno tal y como se muestra en la figura. Será un neopreno rectangular de las dimensiones siguientes: 350 x 400 x 99 (71).

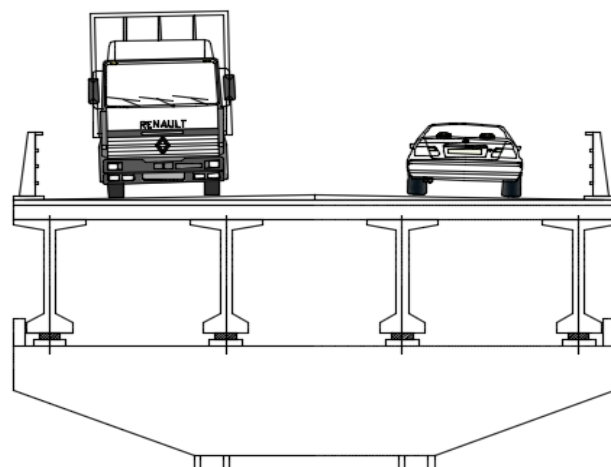


Fig. 12. Sección del puente central

Las Pilas son de hormigón armado y tienen unas dimensiones de 4 x 1,5 m.

Ambas estructuras apoyan en el terreno mediante una cimentacion superficial que consta de zapatas cuadradas de 6 x 6 m y 1 m de canto.

Puente extremo oeste

Como se puede observar en el capítulo de trazado, ha sido necesaria la construcción del puente para salvar el río Lucena.

La solución propuesta consiste en un puente de 273.6 metros de longitud dividido en 7 vanos isostáticos de 39 metros, diseñado según IAP-11 que nos permite evaluar las distintas acción a considerar en proyectos de puentes de carretera. El gálibo del mismo varía debido a la morfología del terreno. El puente abarca desde el Pk 3+145 al Pk 3+418.

El tablero del puente se ha planteado como una solución semicontinua, compuesta por vigas prefabricadas en doble T (1,95 metros de canto) con losa de hormigón armado continua ejecutada in situ (0,25 metros).

El canto de la sección es constante en toda la longitud del puente, de espesor 2,2 metros, compuesto por losa de hormigón y las vigas prefabricas en doble T.

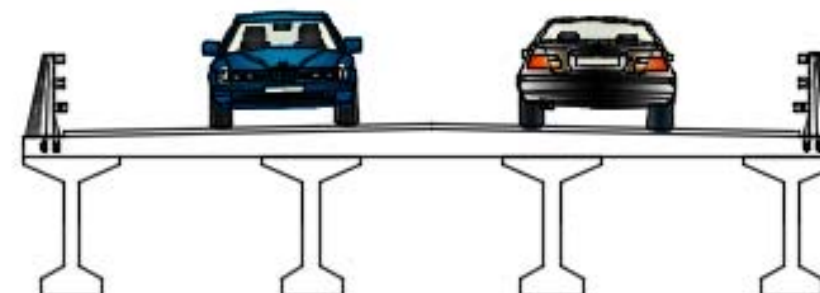


Fig. 13. Sección puente oeste

La longitud total se ha dividido en dos tramos con esta esta tipología de tablero, divididos mediante una junta de dilatación dispuesta entre el cuarto y quinto vano en sentido descendente de PK, definiendo un tramo de 156,35 metros y otro tramo de 117,25 metros.

El tablero presenta un ancho total de 10 metros según normativa (3.1 IC), dividido en dos carriles (uno por sentido) de 3,5 metros cada uno, para una velocidad de proyecto 60 Km/h, dos arcenes de un metro cada uno y un sobre ancho de medio metro por cada lado sin pavimentar, cuya función es albergar los pretilos (PMC2/10d).



Dichos tableros presenta un bombeo del 2% hacia ambos lados para permitir el drenaje, conseguido mediante relleno de hormigón no estructural que se debe considerar como carga muerta a la hora de proyectar el puente.

Las pilas se dividen en dos partes: dintel y fuste.

El dintel en forma de martillo está en contacto directo con el tablero a través de los neoprenos donde apoyan las vigas, por lo que tendrá un ancho igual al del tablero en la parte superior e ira descendiendo linealmente esta anchura hasta coincidir con el ancho del fuste.

El fuste se encarga de conectar el tablero con la cimentación y transmitir las cargas. Se plantea un fuste rectangular (4 x 1,5 metros), están compuestas por un bloque monolítico de hormigón armado, con geometrías hidrodinámicas para darles capacidad hidráulica suficiente al posible paso del agua.

Las alturas de las oscilan entre 15,4 y 38,1 metros y transmite las cargas recibidas del tablero al terreno mediante cimentaciones superficiales de tipo zapata aislada de 8x8 metros permitiendo cumplir las limitaciones de tensión admisible definidas en el anejo geotécnico.

La entrega de los tableros a las pilas se materializa mediante neopreno zunchado sobre el dintel de las pilas.

El puente se apoya en sus extremos sobre los estribos mediante apoyos de neopreno zunchado.

Los estribos que constituyen los soportes del extremo del puente son de tipo cerrado con aletas ortogonales.