



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS



# ESTUDIO DE MEJORA DE TRAZADO DE LA CARRETERA A-1515 ENTRE EL ENLACE A-23 Y EL MUNICIPIO DE RUBIELOS DE MORA (TERUEL) ESTRUCTURA ALTERNATIVA 1

Memoria

Trabajo final de grado

*Titulación:* Grado en Ingeniería Civil

*Curso:* 2016/17

*Fecha:* Valencia, junio 2017

*Autor:* Joel García Fernández

*Tutor:* Julián Alcalá González

*Cotutor:* Hugo Coll Carrillo



## ÍNDICE

1. Antecedentes .....	5
2. Objeto de estudio .....	5
3. Situación geográfica.....	5
4. Método y equipo de trabajo.....	6
5. Descripción de las alternativas planteadas .....	7
5.1. Geología y geotécnica.....	7
5.2. Estudio de tráfico.....	8
5.3. Estudio de seguridad vial .....	10
5.4. Estudio hidrológico .....	11
5.5. Diseño geométrico.....	13
5.6. Diseño de firmes.....	15
5.7. Estructuras .....	16
5.7.1. Alternativa 1 .....	16
5.7.2. Alternativa 2 .....	17
5.8. Estudio hidráulico .....	18
5.9. Drenaje longitudinal y transversal .....	19
5.10. Estudio medioambiental.....	19
5.11. Valoración económica.....	20
6. Valoración global de las alternativas.....	21
7. Conclusiones.....	24

## ANEJOS

Anejo I: Geología y geotécnica
Anejo II: Estudio de tráfico
Anejo III: Estudio de seguridad vial
Anejo IV: Estudio hidrológico
Anejo V: Diseño geométrico
Anejos VI: Diseño de firmes
Anejo VII: Estructuras. Alternativa 1
Anejo VIII: Estructuras. Alternativa 2
Anejo IX: Estudio hidráulico
Anejo X: Drenaje longitudinal y transversal
Anejo XI: Estudio medioambiental





## ÍNDICE DE PLANOS

1. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO
2. DISEÑO GEOMÉTRICO
  - 2.1. PLANTA Y PERFIL
    - 2.1.1. Mejoras restitución
    - 2.1.2. Alternativa 1
    - 2.1.3. Alternativa 2
  - 2.2. PLANTA GENERAL
    - 2.2.1. Mejoras restitución
    - 2.2.2. Alternativa 1
    - 2.2.3. Alternativa 2
  - 2.3. SECCIONES TIPO
    - 2.3.1. Roca
    - 2.3.2. Marga
    - 2.3.3. Aluvión
    - 2.3.4. Glacis
  - 2.4. SECCIONES TRANSVERSALES
    - 2.4.1. Mejoras restitución
    - 2.4.2. Alternativa 1
    - 2.4.3. Alternativa 2
3. ESTRUCTURA ALTERNATIVA 1
  - 3.1. FASE I ESTUDIO DE SOLUCIONES
    - 3.1.1. Puente de vanos continuos losa y cajón
    - 3.1.2. Puente con pilas inclinadas – Puente 3 arcos
    - 3.1.3. Puente arco – Vanos continuos
    - 3.1.4. Puente atirantado
  - 3.2. FASE II ESTUDIO Y SOLUCIONES
    - 3.2.1. PUENTE CON PILAS INCLINADAS
      - 3.2.1.1. Planta - Alzado
      - 3.2.1.2. Diseño pilas
      - 3.2.1.3. Diseño estribos
    - 3.2.2 PUENTE 3 ARCOS
      - 3.2.2.1 Planta - Alzado
      - 3.2.2.2 Diseño pilas
      - 3.2.2.3 Diseño estribos
    - 3.2.3 PUENTE ARCO - VANOS CONTINUOS
      - 3.2.3.1 Planta - Alzado
      - 3.2.3.2 Diseño pilas
      - 3.2.3.3 Diseño estribos
  - 3.3. FASE III PUENTE ARCO – VANOS CONTINUOS
    - 3.3.1. Solución definitiva
    - 3.3.2. Armado tablero
4. ESTRUCTURA ALTERNATIVA 2
  - 4.1. FASE I ESTUDIO DE SOLUCIONES
    - 4.1.1. Cajón canto variable 3 vanos, cajón canto variable 4 vanos
    - 4.1.2. Cajón canto variable 5 vanos, cajón canto variable 4 vanos
    - 4.1.3. Cajón canto constante 5 vanos, cajón canto constante 6 vanos
    - 4.1.4. Cajón acartelado 3 vanos, cajón acartelado 4 vanos
    - 4.1.5. Cajón acartelado 5 vanos, vigas doble T 5 vanos
    - 4.1.6. Vigas doble T 6 vanos, vigas artesa 5 vanos
    - 4.1.7. Vigas artesa 6 vanos, losa canto constante 6 vanos
    - 4.1.8. Losa canto variable 5 vanos, losa canto variable 6 vanos
    - 4.1.9. Arco inferior solución 1, arco inferior solución 2
    - 4.1.10. Extradosado, puente-pórtico
  - 4.2. FASE II ESTUDIO SOLUCIONES
    - 4.2.1. CAJÓN CANTO VARIABLE 3 VANOS
      - 4.2.1.1. Planta y alzado
      - 4.2.1.2. Diseño pilas y sección
      - 4.2.1.3. Diseño estribos
    - 4.2.2. PUENTE EN ARCO 12 VANOS
      - 4.2.2.1. Planta y alzado
      - 4.2.2.2. Diseño sección, pilas y estribos
    - 4.2.3. PUENTE – PÓRTICO
      - 4.2.3.1. Planta y alzado
      - 4.2.3.2. Diseño sección y estribos
      - 4.2.3.3. Diseño de pilas (Alternativas 1 y 2)
  - 4.3. PUENTE EN ARCO SOBRE EL MIJARES.
    - 4.3.1. Detalle. Descripción geométrica del arco
    - 4.3.2. Detalle. Apoyos y secciones arco, pilas y tablero
    - 4.3.3. Detalle. Armado tablero y arco
  - 4.4. Infografía
5. PROTECCIÓN HIDRÁULICA DE LAS ESTRUCTURAS
  - 5.1. Regularización del terreno y protecciones locales en pilas y estribos
  - 5.2. Detalle de las protecciones general y local en las pilas (P1-P2-P3-P4-P5)
  - 5.3. Planta de las protecciones general y local en las pilas
  - 5.4. Detalle de las protecciones general y local del estribo
6. ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL
  - 6.1. Montes
  - 6.2. Riesgos de inundación
  - 6.3. Lugar de Interés Geológico
  - 6.4. Lugar de Importancia Comunitaria
  - 6.5. Elementos singulares del paisaje
  - 6.6. Impacto negativo sobre el paisaje
  - 6.7. Especies amenazadas
  - 6.8. Cotos de caza
  - 6.9. Zonas de alimentación de aves necrófagas





## 1. ANTECEDENTES

La carretera objeto de estudio del presente documento es la A-1515, concretamente desde la glorieta de enlace con la A-23 (Autovía Mudéjar) hasta el municipio de Rubielos de Mora (Teruel). Se trata de una carretera convencional que cuenta con único carril por cada sentido de circulación.

Rubielos de Mora es un municipio de la Comunidad Autónoma de Aragón situado en el sureste de la provincia de Teruel, en la comarca de Gúdar-Javalambre.

La carretera A-1515 discurre íntegramente dentro del territorio de la Comunidad Autónoma de Aragón y, por tanto, constituye uno de los elementos de la Red Autonómica Aragonesa. Se trata de un elemento vertebrador del territorio aragonés, puesto que permite conectar una vía de titularidad estatal (A-23) con vías de menor rango, como son las vías urbanas del municipio de Rubielos de Mora. El objetivo principal de la carretera es canalizar el tráfico de largo recorrido y el de tránsito a través de la Comunidad Autónoma de Aragón.

Actualmente presenta una IMD de 2906 vehículos/día, de los cuales un 0,42% son vehículos pesados (13 vehículos/día).

## 2. OBJETO DE ESTUDIO

El presente Trabajo Final de Grado Estudio de mejora de trazado de la carretera A-1515 entre el enlace A-23 y el municipio de Rubielos de Mora (Teruel) consiste en definir un nuevo diseño para la carretera A-1515 que permita eliminar o mitigar los problemas relativos a la seguridad vial y al incumplimiento de la normativa.

Las características orográficas de la zona han dificultado que el trazado de la carretera actual reúna las condiciones necesarias para que el usuario pueda conducir de una forma cómoda y segura. Unos de los principales motivos son la existencia de curvas excesivamente cerradas y la falta de coordinación entre elementos sucesivos en planta. Ambos factores pueden llevar asociados, a parte del incumplimiento de la normativa vigente de trazado, graves problemas en cuanto a seguridad vial.

Es por todo esto que en el siguiente estudio se propone, justifica y define la realización de un rediseño a la A-1515. Para ello, se plantean dos alternativas claramente diferenciadas. La Alternativa 1 se separa de la actual carretera desviándose hacia el Norte y la Alternativa 2 hacia el Sur.

En el P.K. 4+500m, la carretera actual cruza con el río Mijares. Por tanto, ambas alternativas propuestas contienen el cálculo y diseño de dos puentes y será necesario un estudio hidrológico e hidráulico para conocer las posibles socavaciones en las pilas de los puentes.

Además, debido a los nuevos trazados de la carretera, se realiza un estudio de la geotecnia de la zona con el objetivo de conocer los taludes naturales.

## 3. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Rubielos de Mora es un municipio perteneciente a la comarca Gúdar-Javalambre, en la provincia de Teruel, distante unos 55 km de la capital de provincia. El término municipal posee una superficie igual a 63,72 km<sup>2</sup>, se encuentra a 9299 msnm y tiene aproximadamente 658 habitantes.

Las coordenadas UTM de inicio y final del tramo de carretera objeto de estudio son, respectivamente, 692.552; 4.443.739 y 697.850; 4.451.868. La longitud total de la obra es de aproximadamente 12 kilómetros.

Se trata de una zona principalmente montañosa que presenta un relieve bastante accidentado y un elevado valor paisajístico.

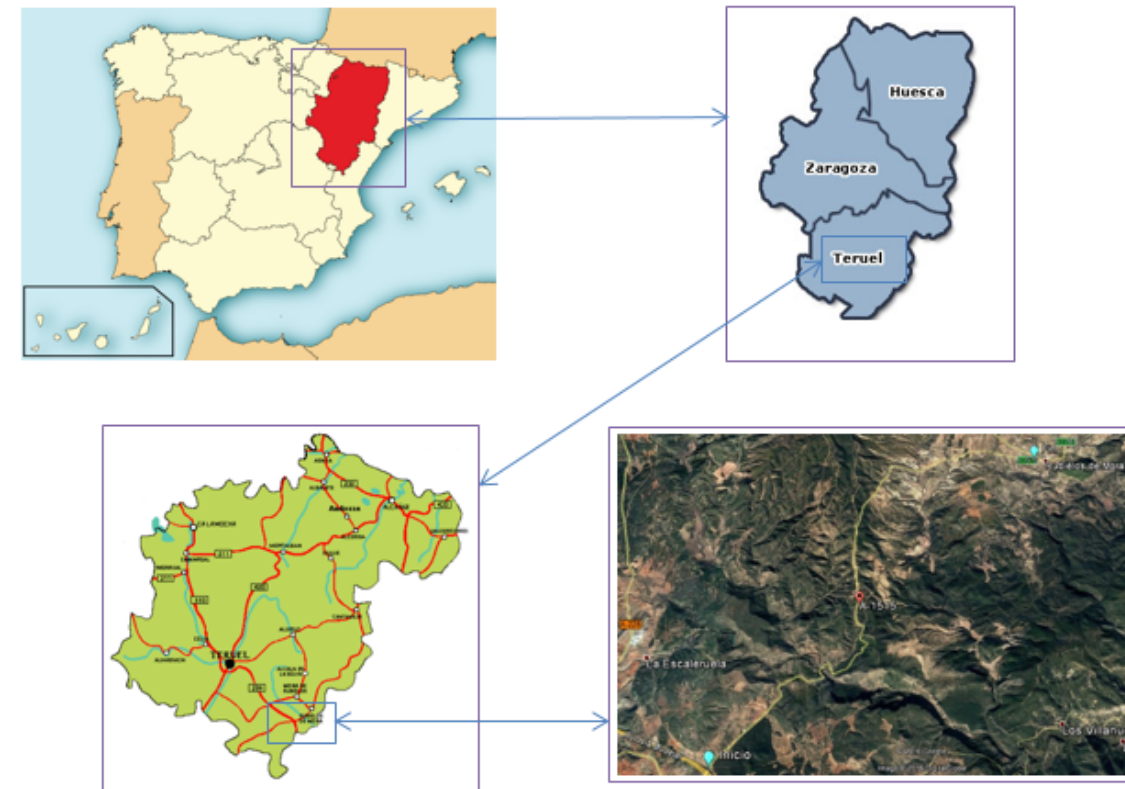


Figura 1. Situación geográfica de la carretera A-1515.



**4. MÉTODO Y EQUIPO DE TRABAJO**

El método de trabajo seguido para realizar este Trabajo Fin de Grado se basa en el trabajo en equipo, la puesta en común de conocimientos y la interrelación entre alumnos.

En primer lugar, se han realizado seminarios relacionados con todos los campos de conocimientos: trazado, tráfico, geotecnia, hidráulica, hidrología, estructura y medio ambiente. El objetivo principal de esta metodología es comprender que todos los campos están conectados y es necesaria la comunicación entre los diferentes miembros del grupo para el intercambio de información, es decir, unos anejos dependen directamente de los valores proporcionados por otros anejos. Gracias a los seminarios impartidos desde octubre hasta febrero se obtiene una idea global de lo que un proyecto de construcción requiere en su totalidad y la importancia del trabajo en equipo.

En segundo lugar, con el fin de la obtención de datos, tanto de aforo del tráfico como de muestras del terreno para sus posteriores ensayos de laboratorio, se han realizado dos visitas de campo a la carretera objeto de estudio en febrero. Además, también se realizó un reportaje fotográfico del estado actual de la carretera y del entorno de la misma.

Finalmente, se han realizado talleres semanales con la participación de todos los componentes del trabajo para decidir conjuntamente los aspectos principales de ambas alternativas y proponer las soluciones óptimas a los problemas que puedan ir surgiendo durante la ejecución del trabajo. A estos talleres también asisten los tutores para responder a las preguntas y cuestiones que van surgiendo y guiar a los alumnos en la toma de decisiones acerca del proyecto.

Hay un total de 11 anejos a esta memoria. A continuación, se detalla cada uno de ellos y los alumnos encargados de su realización.

Anejo I	Estudio geológico y geotécnico	Ignacio Rubio Villalba
Anejo II	Estudio de tráfico	Román Martínez López
Anejo III	Estudio de seguridad vial	Román Martínez López
Anejo IV	Estudio hidrológico	Araceli Viñarta Carbó
Anejo V	Diseño geométrico	Inés María Pueyo Estada
Anejo VI	Diseño de firmes	Inés María Pueyo Estada
Anejo VII	Estructuras. Alternativa 1	Joel García Fernández

Anejo VIII	Estructuras. Alternativa 2	Carlos Ruano Cachinero
Anejo IX	Estudio hidráulico	Adrián Martínez Biosca
Anejo X	Drenaje longitudinal y transversal	Adrián Martínez Biosca Araceli Viñarta Carbó
Anejo XI	Estudio medioambiental	Román Martínez López

Tabla 1. Orden de anejos y alumnos que los realizan.

Además, se han elaborado otros dos documentos relacionados con el proyecto. En primer lugar, se adjunta el Documento 2: Planos, en él se incorporan todos los planos que se han elaborado para la descripción del proyecto. A continuación, se muestra de modo resumido el orden de los distintos tipos de planos junto con su autor:

SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO	Inés María Pueyo Estada
DISEÑO GEOMÉTRICO	Inés María Pueyo Estada
ESTRUCTURA ALTERNATIVA 1	Joel García Fernández
ESTRUCTURA ALTERNATIVA 2	Carlos Ruano Cachinero
PROTECCIÓN HIDRÁULICAS DE LAS ESTRUCTURAS	Adrián Martínez Biosca
ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL	Román Martínez López

Tabla 2: Orden de planos y alumnos que los realizan.

Por último, se ha elaborado el Documento 3: Valoración económica de forma conjunta entre todos los alumnos.





## 5. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS

Como ya se ha comentado, se han elaborado dos alternativas a la carretera actual. Ambos corredores comparten su tramo inicial y final, diferenciándose únicamente desde el P.K. 1+304.17m hasta P.K. 4+744.79m de la carretera actual, tramo donde la concentración de problemas de seguridad vial e incumplimiento de normativa es mayor.

La Alternativa 1 se localiza al oeste y tiene un puente desde el P.K. 1+910m al 2+141m que presenta una combinación de dos tipologías: vanos continuos y arco. Mientras que la Alternativa 2 se localiza al este de la actual y presenta un puente desde el P.K. 1+833m hasta el P.K. 2+141m tipo arco inferior. Debido a que el puente perteneciente a la segunda de las alternativas no contiene pilas sobre el cauce, el estudio hidráulico sólo se ha realizado para la primera.

En los tramos comunes para ambas alternativas, el trazado no se desvía significativamente del recorrido actual, se han podido solventar la mayoría de problemas con modificaciones bastantes leves. Atendiendo a las características del trazado tanto en planta como en alzado de las soluciones planteadas, se ha proyectado la carretera como una C-40.

En cuanto a la geología, se observan diferencias entre ambas alternativas. Mientras que la Alternativa 1 discurre por una alternancia de materiales, la Alternativa 2 está situada durante todo su trazado sobre material rocoso. Los diferentes materiales existentes a lo largo de la traza han hecho necesario el dimensionamiento de cuatro secciones tipo diferentes.

Cabe destacar que la zona presenta un alto valor ambiental, puesto que existe un Lugar de Interés Geológico y, por tanto, será necesario valorar las alternativas desde el punto de vista medioambiental.

### 5.1. Geología y geotécnica

El objetivo de este estudio es el de conocer las características del terreno sobre el que discurre el trazado actual y las alternativas que se proponen para mejorar dicho trazado en el tramo de la carretera A-1515 estudiado. Además, mediante este estudio se pretende calcular las dimensiones de las cimentaciones de las estructuras, así como la estabilidad de los taludes que se generen en los nuevos trazados al mismo tiempo que se facilita la información que se requiera por parte de los demás componentes de este trabajo para la elaboración de sus trabajos.

El terreno sobre el que discurren los distintos tramos del trazado actual y sus alternativas está formado por varias unidades geológicas. Dada la zona en la que se localiza la carretera, la información sobre estas se puede encontrar en las hojas geológicas 591 y 614 del IGME siendo las unidades geológicas de interés las que se enumeran a continuación.

- Conglomerados, arcillas y brecha. Pontiense-Plioceno. (28 Hoja 614) y Conglomerados, areniscas y lutitas rojas localmente amarillentas. Mioceno superior-Plioceno. (22 Hoja 591)
- Aluviones recientes (33 Hoja 614)
- Conglomerados y calizas travertínicas. Mioceno Inferior. (27 Hoja 614)
- Gravas arenas y lutitas. Glacis (27 Hoja 591)

Tras conocer los diversos terrenos y comprobado en la visita de campo que se correspondían con los especificados en el IGME, se han realizado los perfiles longitudinales del trazado actual y las alternativas en los que se representan los materiales y entre qué puntos kilométricos se encuentran.

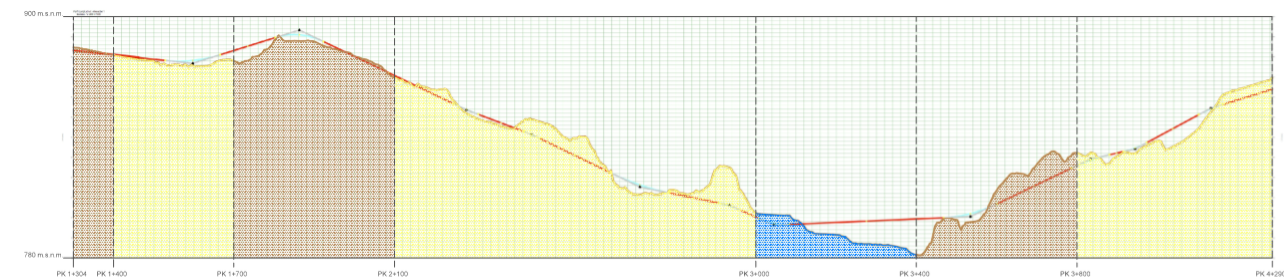


Figura 2: Perfil longitudinal Alternativa 1 con materiales por punto kilométrico.



Figura 3: Perfil longitudinal Alternativa 2 con materiales por punto kilométrico.

Conocidos y situados los materiales se han caracterizado mediante ensayos de laboratorio y bibliografía que permitiese completar la información que no se podía obtener mediante dichos ensayos. Una vez recopilada toda la información sobre los materiales se ha procedido a realizar todas las comprobaciones y estudios pertinentes.

Primeramente, se ha realizado un estudio de los riesgos geológicos en la zona afectada por el trazado. Se han estudiado los riesgos sísmicos, de inundación y de inestabilidad de los taludes.





Para el primero, únicamente se ha comprobado en qué punto del Mapa de Peligrosidad Sísmica que ofrece la Normativa de construcción sismorresistente (NCSE-02), se localizaba la carretera estudiada, obteniendo que la aceleración sísmica es 0,4 veces la aceleración de la gravedad.

En el estudio del riesgo de inundación, se ha tenido en cuenta la información proporcionada por los compañeros encargados del estudio hidrológico, y se ha obtenido que existe riesgo de inundación en la zona donde apoyan los cimientos de la estructura por lo que en el cálculo de estas cimentaciones habrá que tener en cuenta este fenómeno.

Para terminar con los estudios sobre los riesgos geológicos, se han realizado las comprobaciones de estabilidad de los taludes que se generan en el nuevo trazado. Para ello se ha usado el programa informático Slide. Este programa nos permite conocer el coeficiente de seguridad de cada talud el plano en el cual se puede producir el deslizamiento mediante varios métodos, siendo los usados en este trabajo el de Bishop simplificado y el de Janbu simplificado.

Tras la ejecución de este programa se ha concluido que el talud 3/1 (vertical/horizontal) es perfectamente compatible con todos los materiales y alturas máximas que se dan a lo largo de todo el trazado, por lo que es el que se ha empleado para el diseño por los miembros encargados del trazado.

Además de la estabilidad frente a deslizamiento con el programa informático Rocfall se han estudiado los posibles desprendimientos de bloques y/o cantos. Para ello se han establecido diversos tamaños de los elementos desprendidos, en función de lo observado en la visita de campo, y diversas alturas a las cuales se inicia el desprendimiento obteniendo como resultado la distancia máxima que recorren los elementos desprendidos. Tras el análisis se ha llegado a la conclusión de que, en los taludes de arenisca y conglomerados y arcilla, sería necesario el uso de mallas metálicas de contención para evitar que el material desprendido invada la calzada mientras que para los taludes realizados en el material calizo no será necesario ningún tipo de sostenimiento.

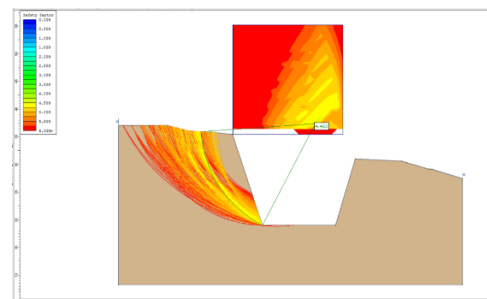


Figura 4: Perfil transversal talud arenisca. Fuente: Programa Rocfall.

Una vez realizados los anteriores estudios, se han realizado los cálculos relativos a las cimentaciones de las estructuras. La primera comprobación realizada ha sido la de hundimiento de las cimentaciones de las estructuras, que se ha realizado con las cargas proporcionadas por los miembros encargados del cálculo estructural. Estas cargas se correspondían a la combinación de acciones característica más desfavorable. Dado que los terrenos podía ser roca o suelo se han usado dos procedimientos distintos ambos especificados en la Guía de cimentaciones en obras de carretera. Seguidamente se han comprobado la condición de deslizamiento de las cimentaciones de la estructura de la alternativa 1, no siendo necesaria la comprobación en la estructura de la alternativa 2 por encontrarse las cimentaciones de dicha estructura empotradas en el terreno. Posteriormente, se ha comprobado la condición de vuelco que al igual que la de deslizamiento solo ha sido necesaria en la estructura de la alternativa 1. Para finalizar, se han comprobado los asentamientos que se producían, siendo esta la condición más restrictiva y por lo tanto la que ha determinado las dimensiones de las cimentaciones. Con estas dimensiones se han vuelto a comprobar todas las condiciones anteriores para asegurarse que se cumplían y se han fijado definitivamente las dimensiones.

## 5.2. Estudio de tráfico

El objetivo de este Anejo es llevar a cabo un análisis del tráfico y estudiar los efectos derivados de la ejecución de un nuevo trazado, mediante la mejora del trazado actual y mediante la propuesta de dos alternativas. Una vez estudiado el flujo de tráfico, se estudiará el nivel de servicio y la capacidad, tanto del trazado actual como de las alternativas propuestas.

Para realizar el análisis del tráfico se toman como datos de partida los aforos manuales realizados. Para completar los datos del tráfico será necesario hacer uso de estaciones afines, de esta forma y realizando una serie de suposiciones se estará en disposición de obtener la IMD actual del trazado, así como la de puesta en servicio y año horizonte.

Los pasos realizados para obtener la IMD de la carretera A-1515 han sido los siguientes:



Factor que relaciona las IMDs e intensidades de los días sábados y domingos, de la estación sub-afín con la estación afín

- Intensidad, sábado y domingo, estación afín, 3 meses de estudio

Se hace uso de la ficha de caracterización de la estación afín y se obtienen las intensidades de los tres meses de estudio

- Intensidad, laborable, estación afín, 3 meses de estudio

Ficha de caracterización de la estación afín y se hace uso de la distribución horaria de las intensidades horarias de un día laborable para obtener las intensidades que complementen al aforo manual realizado

- Se asume que la distribución horaria de un laborable va a ser igual en sábados y domingos
- Intensidad, horaria, sábado, carretera
- Intensidad, sábado, carretera

A partir de un factor que relaciona el mes de febrero y el día sábado con los días y meses restantes de la estación afín, obtengo las intensidades de los 2 meses restantes y cada uno de los días de estudio de la carretera

- Intensidad, lab-sáb-dom, carretera, 3 meses de estudio

Se obtiene la IMD de los 3 meses de estudio y se agrupa en meses de igual comportamiento para obtener la IMD actual de la A-1515

- IMD, febrero-junio-nov
- IMD, actual A-1515

Tabla 3: Pasos realizados para obtener la IMD actual de la carretera.

Tras realizar los pasos enunciados, la IMD actual obtenida es 2906 vehículos-día. A continuación, se realiza una prognosis del tráfico, de acuerdo con la Orden FOM/3317/2010, con el objetivo de determinar el volumen de tráfico para el año de puesta en servicio (2020) y el año horizonte (2040), siendo estos los resultados obtenidos:

	IMD	IMDp
<b>IMD, actual</b>	2906	13
<b>IMD, año de puesta en servicio (2020)</b>	3035	14
<b>IMD, año horizonte (2040)</b>	4040	18

Tabla 4: IMDs teniendo en cuenta el incremento anual acumulativo.

Después de haber analizado el tráfico, se procede a estudiar el nivel de servicio mediante el *Highway Capacity Manual 2016 (HCM)*. De acuerdo con las especificaciones obtenidas en el manual en relación a la clasificación de carreteras de dos carriles, se ha podido determinar que la carretera de estudio está dentro del tipo de carretera Clase II.

El HCM especifica que para esta clase de carreteras el parámetro a calcular y que nos permitirá determinar el nivel de servicio, haciendo uso también de las tablas proporcionadas por el manual, es el porcentaje de tiempo en cola (PTSF), el cual se ve muy influido por la posibilidad de adelantar o no de la carretera. Los pasos y resultados hasta obtener el PTSF se muestran en el Anejo II: Estudio del tráfico.

En la tabla siguiente se puede observar el PTSF, en función del año y del sentido direccional, y el nivel de servicio que se obtiene de acuerdo con los umbrales establecidos en el HCM 2016.

	Actual		Actual + Alt.1		Actual + Alt.2		Actual + Alt.1		Actual + Alt.2		Actual + Alt.2	
	Hacia Rubielos de Mora		Hacia A. Mudéjar		Hacia Rubielos de Mora		Hacia A. Mudéjar		Hacia Rubielos de Mora		Hacia A. Mudéjar	
	PTSF	NS	PTSF	NS	PTSF	NS	PTSF	NS	PTSF	NS	PTSF	NS
<b>Actual (2017)</b>	51.64	B	5.91	A	30.32	A	4.09	A	31.02	A	4.13	A
<b>Puesta en servicio (2020)</b>	52.14	B	5.98	A	30.82	A	4.16	A	31.52	A	4.21	A
<b>Año horizonte (2040)</b>	55.97	C	6.50	A	34.65	A	4.68	A	35.35	A	4.72	A

Tabla 5: Nivel de servicio de cada uno de los trazados.

Con las alternativas propuestas se procurará mejora el porcentaje de adelantamiento y por tanto del nivel de servicio.



Por último, analizando la capacidad de la vía, se puede afirmar que la demanda de vehículos de la carretera de estudio no supera la capacidad de la vía, ya que ninguno de los niveles de servicio obtenidos es más desfavorable que el nivel E y porque no se superan ni los 1700 vehículos ligeros en una hora en un sentido ni los 3200 vehículos ligeros en una hora teniendo en cuenta ambos sentidos.

### 5.3. Estudio de seguridad vial

El objetivo de este anejo es garantizar el cumplimiento de la normativa por parte del diseño geométrico que proporcione como resultado un trazado con condiciones de operatividad y seguridad óptimas para los usuarios.

Para garantizar dichas condiciones de seguridad en lo que a términos de velocidad se refiere, se parte del estado de alineaciones perteneciente al diseño geométrico como base para determinar el perfil de velocidad de operación tanto de la carretera actual como de las dos alternativas propuestas. El proceso de obtención de dicho perfil se detalla en el Anejo nº 3.

Una vez obtenido el perfil de velocidad de operación, se analiza la consistencia para evaluar si las condiciones que se encontrarán los futuros usuarios de la variante se adecúan a sus expectativas. Además, se realizará una comparativa entre los tres trazados con el objetivo de analizar si las alternativas propuestas mejoran la situación actual.

Esta evaluación de la consistencia se realiza mediante la comparación de los resultados obtenidos con los valores recomendados por el Criterio II de Lamm para consistencia local y con un parámetro C de consistencia global. Dichos criterios son los siguientes:

CRITERIO II DE LAMM: Consistencia según $V_{85}$		
Buena	$ V_{85,i} - V_{85,i+1}  \leq 10 \text{ km/h}$	Mantener el diseño
Aceptable	$10 \text{ km/h} \leq  V_{85,i} - V_{85,i+1}  \leq 20 \text{ km/h}$	Rediseño o señalización
Mala	$ V_{85,i} - V_{85,i+1}  > 20 \text{ km/h}$	Rediseño

Tabla 6: Criterio II de Lamm para el estudio de la consistencia local. Fuente: Elaboración propia a partir de los apuntes de Seguridad Vial 16/17 UPV.

CRITERIO DE CAMACHO: CONSISTENCIA GLOBAL		
Buena	Aceptable	Mala
$C > 5$	$3,9 < C \leq 5$	$3,9 \leq C$

Tabla 7: Umbrales para el criterio de consistencia global según el Método Camacho. Fuente: Elaboración propia a partir del criterio indicado.

Para el estudio de la consistencia local se ha hecho uso de los perfiles de velocidad de operación de cada uno de los trazados y en ambos sentidos de circulación, además del Criterio II de Lamm mencionado. En la siguiente tabla se muestran las inconsistencias locales de cada uno de los trazados de estudio, a partir de la cual se puede afirmar que ambas alternativas mejoran la consistencia local de la carretera actual existente.

CONSISTENCIA LOCAL	Aceptable		Mala	
	Sentido ida	Sentido vuelta	Sentido ida	Sentido vuelta
Actual	10	9	7	12
Actual + Alternativa 1	9	7	0	0
Actual + Alternativa 2	6	7	0	0

Tabla 8: Consistencia locales observadas según el Criterio II de Lamm.

Los resultados obtenidos referentes a la consistencia global se pueden observar en la tabla inferior, a partir de la cual se puede observar que, de acuerdo con los umbrales propuestos en el Criterio de Camacho, la consistencia es inferior a 3,9 por lo que se considera que incluso con las alternativas propuestas la consistencia global es mala. Aun así, se puede observar que, aun siendo mala la consistencia de ambas alternativas, mejora la consistencia del trazado actual de la carretera de estudio.

Cabe destacar que este proceso ha sido realizado de forma iterativa, ya que, para obtener el trazado definitivo, se han utilizado estos criterios para introducir progresivamente las modificaciones pertinentes.

A partir de los resultados obtenidos para la consistencia global se realiza por último una estimación de accidentes para los próximos diez años mediante un SPF (Safety Performance Function), la cual diferencia entre tramos libres y coartados. La fórmula de la SPF es la siguiente:



SPF para estimación de accidentes	
Tramos libres	$y_i = e^{-5.5819} * L^{0.9265} * IMD^{0.9934} * e^{-0.52155*C}$
Tramos coartados	$y_i = e^{-3.91602} * L^{1.16103} * IMD^{0.8015} * e^{-0.564299*C}$

Tabla 9: SPF para la estimación de accidentes. Fuente: Elaboración propia a partir del criterio.

A partir de esta formulación y mediante los resultados obtenidos en el estudio de la consistencia global se estima el número de accidentes para cada uno de los trazados. El resultado de la estimación de accidentes se puede observar en la tabla inferior, en la cual se puede observar que ambas alternativas propuestas reducen el número de accidentes de la carretera actual.

	Actual	Act+Alt1	Act+Alt2
	C	C	C
	2.426	2.452	2.516
	1.792	1.613	1.808
	2.426	2.119	2.689
	2.397	3.050	2.545
<b>Y<sub>10</sub></b>	<b>40.63</b>	<b>36.99</b>	<b>35.32</b>

Tabla 10: Tabla resumen de la consistencia global y de la estimación de accidentes.

#### 5.4. Estudio hidrológico

El objetivo del estudio hidrológico realizado es la obtención de los caudales pico calculados, para distintas probabilidades de ocurrencia, en cada una de las subcuencas e intercuencas que vierten a la traza de la carretera A-1515. Para la alternativa 1 hay un total de 8 subcuencas y 12 intercuencas, mientras que la alternativa 2 consta de 11 subcuencas y 10 intercuencas. Existe una considerable diferencia de magnitud entre la cuenca del Mijares y el resto, por una parte el área contribuyente a la alternativa 1 es de 1132 Km<sup>2</sup>, mientras que a la alternativa 2 contribuyen 1150 Km<sup>2</sup>, de los cuales, en ambos casos, 1130 Km<sup>2</sup> pertenecen a la cuenca del Mijares.

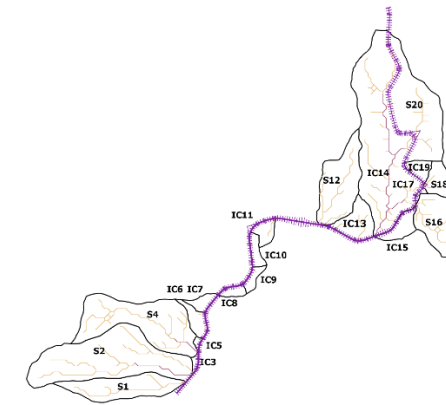


Figura 5: Subcuencas vertientes a la Alternativa 1.

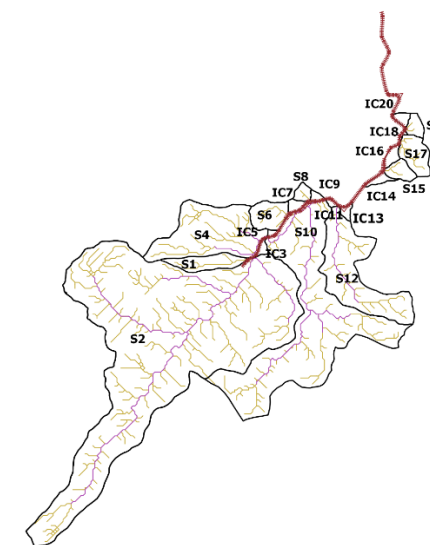


Figura 6: Subcuencas vertientes a la Alternativa 2.

El procedimiento seguido para el estudio hidrológico consta de tres apartados principales. En primer lugar, se procede a la caracterización del sistema en cuanto a la producción de escorrentía superficial se trata. A continuación, se analizan estadísticamente las series pluviométricas proporcionadas por la Agencia Española de Meteorología. Finalmente, se realiza una simulación del proceso de transformación de lluvia directa en escorrentía superficial con la ayuda del *software* HEC-HEMS y una calibración del modelo empleado.

Primeramente, la caracterización del sistema hidrológico se basa en la obtención del umbral de escorrentía, puesto que es el único parámetro del que depende el modelo *Soil Conservation Service* empleado para la simulación de la producción de escorrentía. Según el documento nº173 del Boletín Oficial de la Región de Murcia, el umbral de escorrentía se puede hallar a partir de la intersección del uso del suelo y la capacidad drenante del mismo. La información de partida es proporcionada, por una parte, por el portal de información de la comunidad autónoma de Aragón IDE Aragón para los mapas de la geología de la zona y





de la permeabilidad, y por otro lugar, el mapa de cubierta del terreno se obtiene del SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España). Con la ayuda del programa QGIS se manejan, tratan y se intersectan las capas de los mapas anteriores. De esta manera, finalmente, se obtiene la distribución espacial del umbral de escorrentía (Figura 7). Puede observarse un alto grado de heterogeneidad en cuanto a la producción de escorrentía superficial.

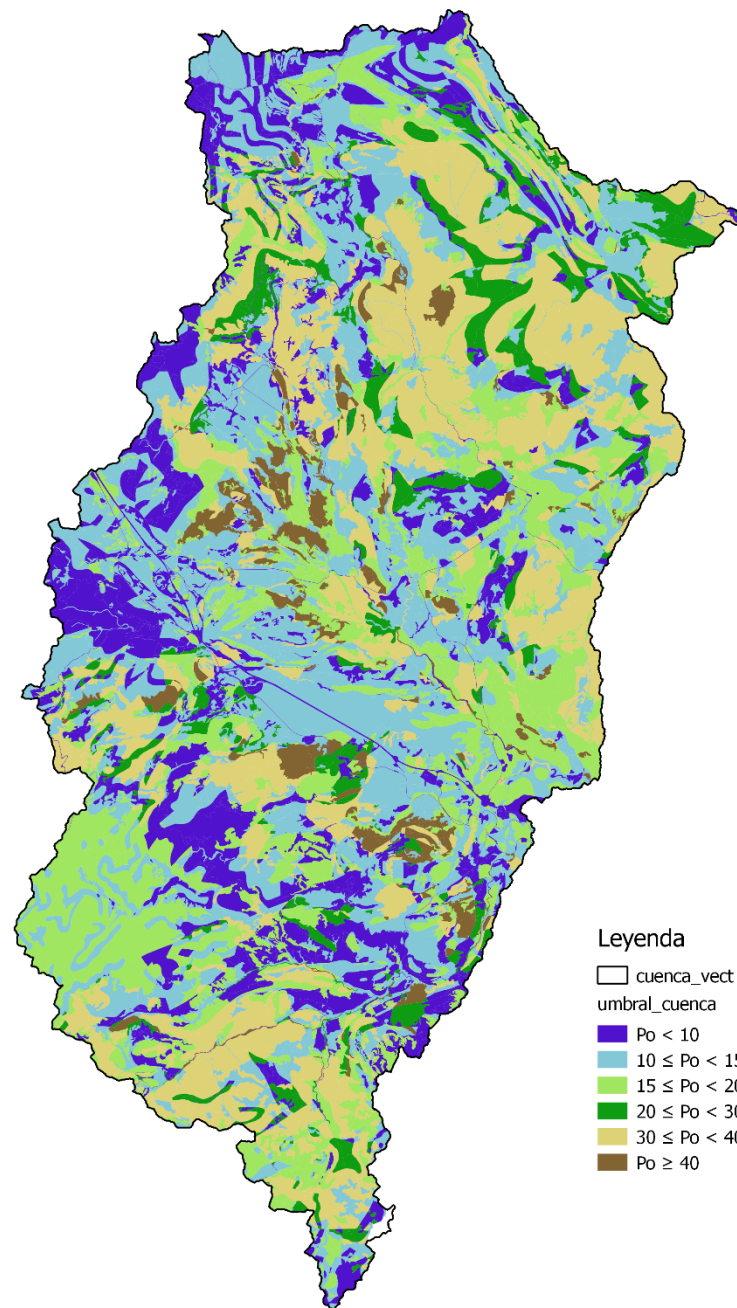


Figura 7: Mapa de la distribución espacial del umbral de escorrentía.

En segundo lugar, se emplea un método hidrometeorológico con el fin de obtener los cuantiles de precipitación diaria máxima anual de los periodos de retorno deseados en cada una de las estaciones AEMET seleccionadas que se encuentran dentro de la extensión de la superficie y proporcionan series de suficiente longitud para ser tratadas. Para ello se realiza un análisis estadístico mediante las funciones de distribución de máximos Gumbel, Generalized Extreme Value (GEV), Square- Root Exponential Type Distribution of the Maximum (SQRT-Etmax) y Two Component Extreme Value (TCEV). Todas ellas han sido ajustadas por el método de máxima verosimilitud. Los cuantiles de máximos pluviométricos obtenidos en cada una de las estaciones meteorológicas estudiadas son los siguientes:

Periodos de retorno	Cuantiles					
	Alcalá de la Selva	Mora de Rubielos	Torrijas	Sarrión	Puebla de Valverde	Manzanera
Método	GEV	Gumbel	SQRT	Gumbel	Gumbel	Gumbel
10	72,43	73,55	94,18	78,66	69,13	79,93
25	83,68	88,12	117,41	93,52	79,92	93,30
50	91,43	98,92	136,13	104,54	87,92	103,22
100	98,66	109,65	155,96	115,48	95,87	113,07
200	105,42	120,33	176,95	126,39	103,78	122,88
500	113,72	134,43	206,50	140,77	114,23	135,83

Tabla 11: Cuantiles de máximos pluviométricos y las funciones de distribución adoptadas en las estaciones AEMET estudiadas.

Previamente a la modelación del proceso lluvia-escorrentía, se analiza la necesidad de desagregar la cuenca del Mijares debido principalmente a la gran disparidad de valores del umbral de escorrentía y a la gran extensión de la cuenca. El resultado de la desagregación son un total de 86 subcuencas (Figura 8), cada una de ella representa una unidad con comportamiento similar tanto en cuanto a la precipitación como a la producción de escorrentía.



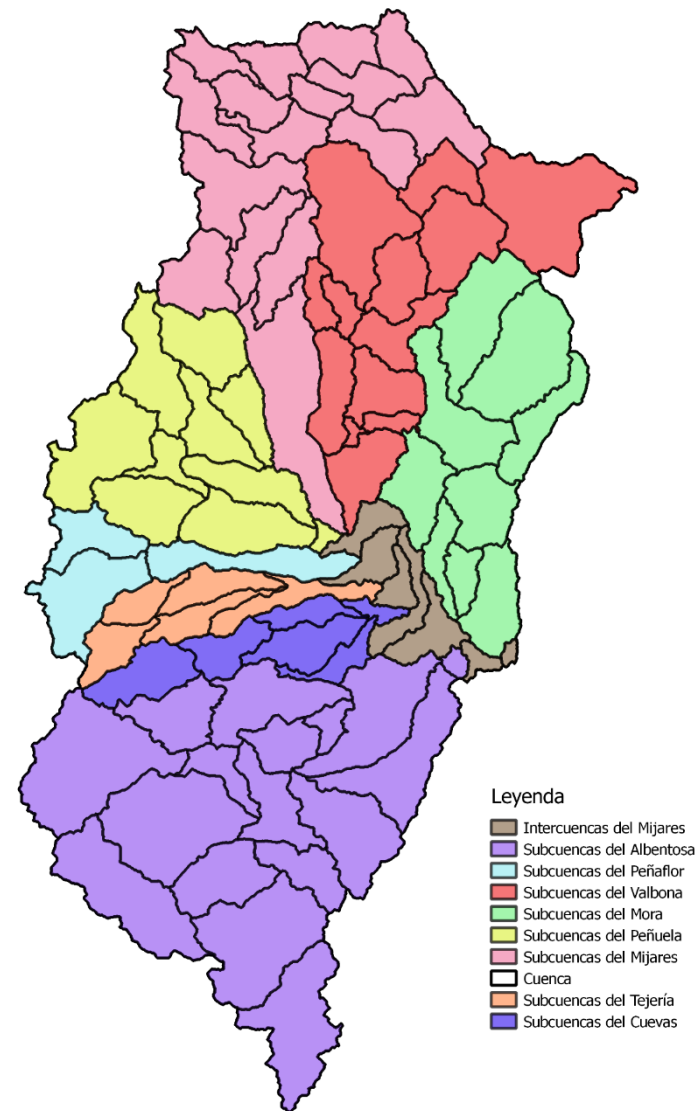


Figura 8: División en subcuencas de la cuenca Mijares.

La modelación del sistema hidrológico se realiza mediante el *software* HEC-HMS. Los modelos empleados para la simulación son: *Soil Conservation Service* para la producción de escorrentía, hidrograma unitario del SCS para la transformación de la lluvia neta en escorrentía y *Muskingum-Cunge* para la propagación en cauces.

Finalmente, debido a la existencia de una estación de aforos dentro de la cuenca, la EA8030 Mijares-El Terde, puede realizarse una calibración del modelo empleado. La calibración se realiza variando los parámetros tiempo de retardo ( $Tlag$ ) y factor de corrección del umbral de escorrentía ( $\beta$ ). Tras un proceso iterativo, los valores de caudales máximos de crecida obtenidos mediante la calibración son más próximos a los obtenidos mediante el análisis estadístico de las series de caudales instantáneos máximos anuales en Mijares-El Terde empleando valores de  $Tlag=0.6$  y  $\beta=1.6$ .

### 5.5. Diseño geométrico

En el Anejo V: Diseño geométrico se encuentra toda la información relativa a la definición exacta del trazado de la nueva carretera a proyectar. Todo lo en él expuesto se ha realizado teniendo en cuenta la normativa vigente a nivel nacional, la Instrucción de Carreteras 3.1 – I.C. “Trazado”, de febrero de 2016.

La orografía de la zona ha sido uno de los principales factores condicionantes en el diseño. Como ya se ha mencionado, se trata de un área con un marcado relieve montañoso y, por tanto, se ha intentado adaptar el trazado a las curvas de nivel hasta dar con una solución óptima en la que los desniveles a salvar sean tolerables.

Tras localizar los problemas de seguridad vial existentes en la carretera y estudiar el cumplimiento de la normativa vigente en el trazado actual, se optó por distinguir dos tipos de actuaciones en la carretera: un rediseño total entre el P.K. 1+304.17m y el P.K. 4+744.79m y una mejora de la carretera actual en el resto de la vía. Como ya se ha mencionado, en el tramo central se plantean dos alternativas (Alternativa 1 hacia el Norte y Alternativa 2 hacia el Sur).

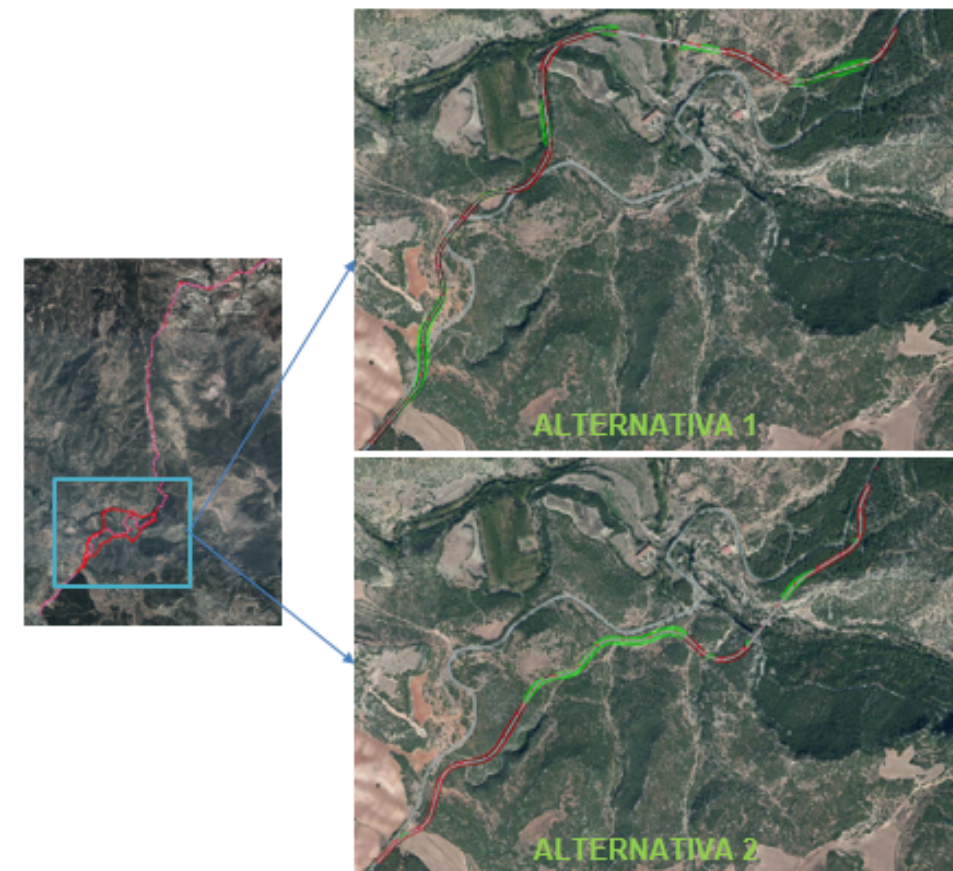


Figura 9. Planta general alternativas.

Durante todo el estudio, ambas alternativas se han analizado con el mismo nivel de detalle. Atendiendo a su diseño tanto en planta como en alzado, el corredor que se proyecta presenta unas características relativas a una C-40.

En ambas alternativas, la presencia del río exige la construcción de un puente. Desde el punto de vista del trazado se pretenderá salvar de la manera más perpendicular posible el cauce, consiguiendo de esta forma que el flujo se vea afectado lo mínimo posible. Además, se intentará localizar el puente en una alineación recta, tanto en planta como en alzado, para facilitar su construcción. En las siguientes figuras se muestra el perfil longitudinal de las alternativas en el tramo en el que se debe salvar el río:

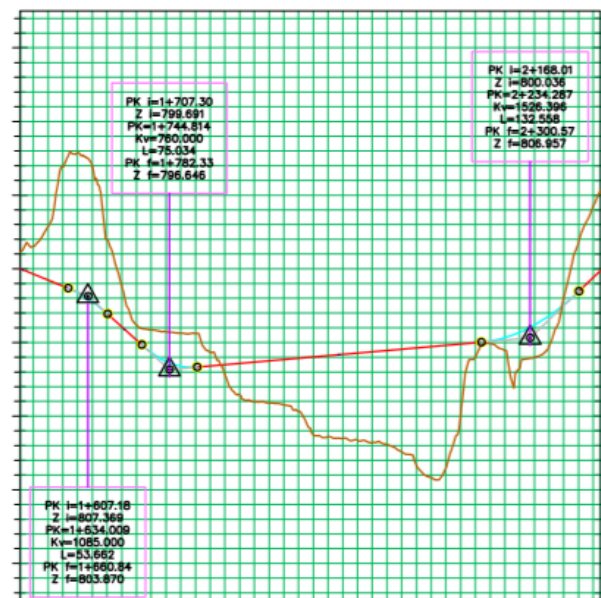


Figura 11: Perfil puente Alternativa 1.

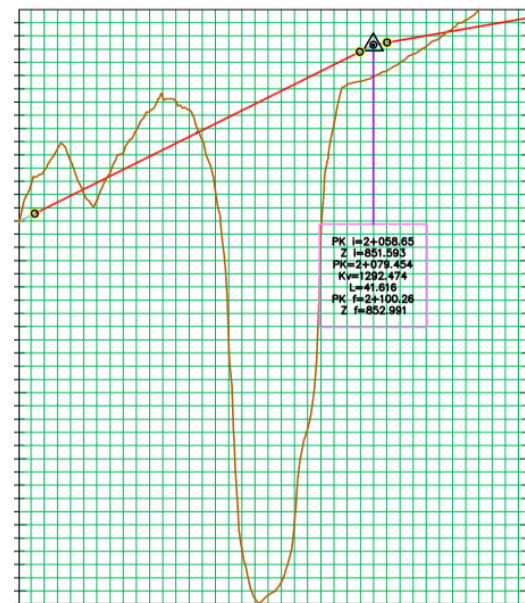


Figura 10: Perfil puente Alternativa 2.

En cuanto a las mejoras en la restitución, uno de los tramos más conflictivos ha sido a partir del P.K. 4+744.49m de la carretera actual. La zona presentaba una sucesión de curvas muy cerradas rodeadas de una rápida elevación de terreno. Estas curvas impedían que se alcanzaran unas buenas condiciones para la conducción y, además, incumplían los radios mínimos exigidos por normativa para cualquier tipo de carretera. Finalmente, se ha logrado reducir los radios existentes sin afectar en exceso al movimiento de tierras global. En la siguiente figura se puede observar el nuevo trazado acompañado de las zonas de desmonte (en rojo) y de terraplén (en verde).



Figura 12: Movimiento de tierras P.K. 4+744m.

La sección transversal en ambas alternativas corresponde a la que establece la normativa para una carretera C-40: Carretera en única plataforma, con un carril por sentido de circulación. Los carriles tienen un ancho de 3,5 metros, los arcenes son de 0,5 metro de ancho y las bermas de 0,75m. Se muestra la sección transversal esquematizada en la figura que se adjunta a continuación:

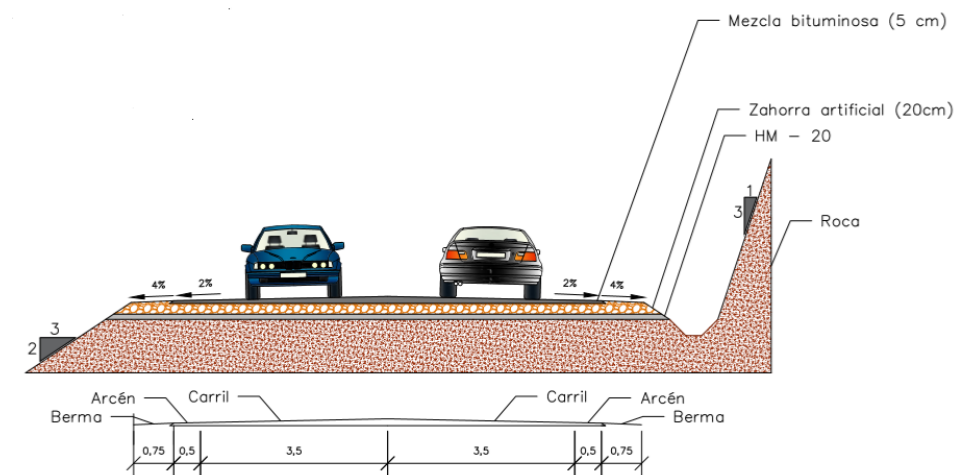


Figura 13: Sección tipo sobre terreno rocoso.

Cabe remarcar que todo el diseño geométrico ha sido realizado mediante la utilización del software informático Autocad Civil 3D y que, tanto en el Anejo V: Diseño geométrico del presente documento como en el Documento 2: Planos, se adjuntan los planos y listados obtenidos, además de todo el dimensionamiento llevado a cabo.





**5.6. Diseño de firmes**

En el Anejo VI: Diseño de firmes se dimensiona la sección de la explanada y del firme según la Norma 6.1 IC de Secciones de Firme, aprobada en diciembre de 2003.

Tras tratar los datos obtenidos en el aforo manual realizado el 4 de febrero de 2017, se ha categorizado el tráfico pesado en base a su intensidad media diaria para el año de puesta en servicio en el carril de proyecto, obteniéndose la categoría T42.

En el catálogo de explanadas de la normativa se encuentran distintas explanadas en función de la categoría de tráfico pesado y del material subyacente.

En el Anejo I: Estudio geológico y geotécnico se obtienen cuatro tipos de materiales distintos sobre la traza de la nueva carretera y, por tanto, es necesario dimensionar cuatro secciones diferentes.

Dada la baja intensidad de paso de tráfico pesado, la categoría de explanada vendrá impuesta principalmente por la economía de la solución final (conjunto de explanada y firme), y no por el tráfico de vehículos pesados.

Tras evaluar todas las opciones posibles para cada tipo de material, se definen las cuatro secciones y se añaden los riegos necesarios según la normativa. En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos:

- Material subyacente: ROCA

	Espesor (cm)	Capa	Material
FIRME	5	Rodadura	AC 16 SURF BC50/70 D
	Riego de imprimación		C50BF4 IMP
	20	Base granular	Zahorras artificiales
	10	Explanada	HM-20
	Suelo subyacente		Roca

Figura 14: Diseño de firme sobre roca.

- Material subyacente: MARGA

	Espesor (cm)	Capa	Material
FIRME	5	Rodadura	AC 16 SURF BC50/70 D
	Riego de imprimación		C50BF4 IMP
	25	Base granular	Zahorras artificiales
	40	Explanada	Suelo seleccionado
	80	Explanada	Suelo tolerable
	Suelo subyacente		Suelo marginal

Figura 15: Diseño de firme sobre marga.

- Material subyacente: ALUVIÓN

	Espesor (cm)	Capa	Material
FIRME	5	Rodadura	AC 16 SURF BC50/70 D
	Riego de adherencia		C60B3 ADH
	Riego de curado		C60B3 CUR
	25	Base granular	Suelocemento
	35	Explanada	Suelo seleccionado
	Suelo subyacente		Suelo adecuado

Figura 16: Diseño de firme sobre aluvión.

- Material subyacente: GLACIS

	Espesor (cm)	Capa	Material
FIRME	5	Rodadura	AC 16 SURF BC50/70 D
		Riego de adherencia	C60B3 ADH
		Riego de curado	C60B3 CUR
	25	Base granular	Suelocemento
	45	Explanada	Suelo seleccionado
		Suelo subyacente	Suelo tolerable

Figura 17: Diseño firme sobre glacis.

## 5.7. Estructuras

En este estudio de mejora de trazado de la carretera A-1515, se plantean dos alternativas al trazado existente actual. En este caso, debido a la orografía del terreno, es necesario salvar el cauce del Río Mijares mediante una estructura en cada alternativa. A continuación, se detallan las estructuras diseñadas.

### 5.7.1. Alternativa 1

Respecto a la alternativa 1 de mejora de trazado de la A-1515 por la cuenca del río Mijares, se ha planteado la construcción de una estructura que posee una longitud de 231 metros. El trazado de la carretera busca adaptarse en la medida de lo posible a la orografía existente y a las condiciones impuestas por el cauce del río Mijares, por esto, los puntos kilométricos a los que se sitúan los estribos son P.K 1+907 y P.K 2+138.

Para identificar que estructura alcanza los objetivos planteados en este estudio, se realiza una búsqueda por fases planteando de manera inicial una serie de alternativas, y mediante una matriz multicriterio, obtener cual es la mejor opción.

En este caso, en la primera fase, se plantearon 6 propuestas de puentes que tenían la posibilidad de adaptarse a las condiciones del contorno, las cuales eran:

- Puente en cajón de canto constante con 6 vanos.
- Puente losa de canto variable con 6 vanos.
- Puente losa de canto constante con 5 vanos con pilas inclinadas en el cauce.
- Puente losa de canto constante con 5 vanos y tramo con arco superior.
- Puente formado por 3 arcos superiores
- Puente atirantado con torre inclinada

Tras analizar las distintas alternativas, se concluye que la mejor alternativa que permite solventar en mayor medida las necesidades y objetivos del proyecto es la solución de puente losa de canto constante con 5 vanos y tramo con arco superior. Se proyectará una estructura dividida en dos tramos, el primer tramo con una longitud de 150 metros de vanos continuos, con vanos principales de 33 metros y extremos de 25 y, por otra parte, un segundo tramo de 81 metros de luz, mediante un puente arco metálico.

El diseño del tablero ha sido diseñado buscando que en ambos tramos el canto de la estructura sea el mismo, siendo necesario, además un cambio de sección del tramo 1 al tramo 2. Ambos diseños deben de cumplir que la calzada debe contener 2 carriles de 3.5 metros y dos arcenes de 1.5 metros. Por tanto, el tramo 1 de la estructura, tendrá una sección losa con ala ancha de 11.30 metros con un canto de 1.40 metros. En el tramo 2, es necesario aumentar la anchura del tablero hasta los 14.30 metros para permitir el anclaje de las péndolas que conectan el arco y el tablero.

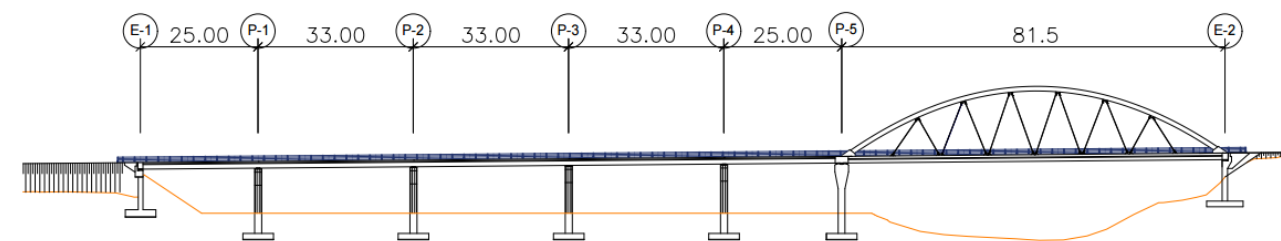


Figura 18: Alzado puente Alternativa 1.



El diseño de pilas, se ha visto condicionado por la poca altura existente entre el terreno y el tablero, además de, el cambio de sección transversal que se produce entre el primer y segundo tramo. Por esto, se decide el diseñar dos tipologías de pila, en el primer lugar aparecen pilas tipo palmera en una única fila, donde las dimensiones en la base es 1.5x2 metros mientras que en la cabeza alcanzan 1.5x5.6 metros, permitiendo el apoyar el tablero sobre dos neoprenos. Para solventar el problema del segundo tramo, se decide ampliar el tamaño de la pila, y se disponen dos pilas tipo palmera unidas mediante un dintel por las cabezas. Las dimensiones en la base se mantienen igual en cada pila, 1.5x2, y en la parte superior se produce un incremento de sección con 1.5x12.6 metros.

En el diseño de los estribos se ha considerado como principal factor de diseño, el estudio hidráulico, por tanto, se plantean dos soluciones de estribos distintos, el estribo situado en el P.K 1+907 es de tipo abierto y el estribo situado en el P.K 2+138 es de tipo cerrado.

En el diseño del arco situado en el tramo 2, se plantea utilizando dos arcos rectos de sección tubular con diámetro 1 metro, que tiene una longitud de 81 metros, y que presenta un trazado parabólico alcanzado los 15 metros de altura en el centro. De este, se disponen las péndolas que realizan la conexión tablero-arco.

### 5.7.2. Alternativa 2

En cuanto al paso de la alternativa 2 de mejora de trazado de la A-1515 por la cuenca del río Mijares, se propone la construcción de un viaducto que discorra entre las situaciones de sus estribos 1 y 2, habiéndose definido estas como los puntos kilométricos P.K.1+833 y P.K.2+037 tras una evaluación de las características del terreno y la geometría de la rasante definida, dando lugar a una estructura de 204 m de longitud total.

Para determinar la mejor de las soluciones constructivas a proyectar para dicha alternativa de trazado, se ha realizado un exhaustivo estudio de soluciones, tal y como se expone en el anejo VIII del presente proyecto. Mediante métodos de evaluación multicriterio, y tras realizar un diseño constructivo y geométrico de cada una de ellas, se han analizado las siguientes soluciones constructivas:

- Puente en cajón de canto variable con 3, 4 o 5 vanos.
- Puente en cajón de canto constante con 4, 5 o 6 vanos.
- Puente en cajón acartelado con 3, 4 o 5 vanos.
- Puente prefabricado de vigas doble T con 5 o 6 vanos.
- Puente prefabricado de vigas artesas con 5 o 6 vanos.
- Puente losa de canto constante con 6 vanos.
- Puente losa de canto variable con 5 o 6 vanos.

- Puente en arco inferior. Solución 1 con vanos de 19 m.
- Puente en arco inferior. Solución 2 con vanos de 17 m.
- Puente extradorado.
- Puente-pórtico con pilas inclinadas 45°.

Del análisis de las mismas se ha podido concluir que la solución a proyectar que permite satisfacer en mayor medida las necesidades y objetivos del proyecto es la solución 2 de puente en arco inferior. Se ha definido, por lo tanto, un viaducto formado por un total de 12 vanos de 17 metros de luz, cuyo tablero transmite sus cargas al terreno a través de las pilas extremas y el arco parabólico dispuesto para dicha estructura.

En cuanto al diseño del tablero, este se ha definido como un tablero tipo losa maciza de ala ancha de hormigón armado de gran esbeltez, con un canto de 80 cm y un ancho total de 11,30 m permiten dar cabida a los dos carriles de 3,5 m, arcenes de 1,5 m, y sendas bandas de 0,65 m cada una para disposición del pretil de seguridad.

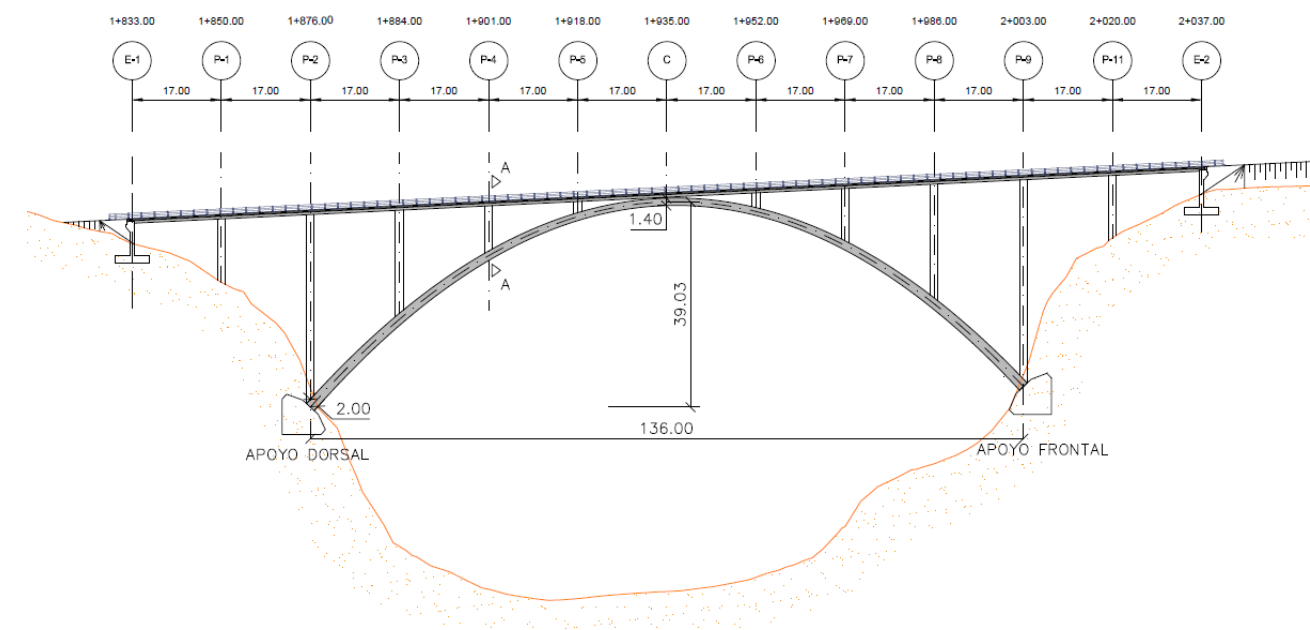


Figura 19: Alzado puente Alternativa 2.

En lo relativo al diseño de pilas, el modelo estructural definido presenta, además de sendos estribos cerrados de una altura de en torno a 8 y 9 metros respectivamente, 10 pilas formadas por dos pilastras dispuestas simétricamente en sentido transversal. Dichas pilas, aun debiendo soportar las pilas extremas mayores esfuerzos tanto flexión como de compresión, se han diseñado idénticas por criterio estético, mediante una sección rectangular constante de las pilastras de 1,5 x 2,5 metros y una separación entre pilastras de 2 metros. La geometría del aligeramiento de la sección se ha definido de tal forma que



el espesor de las paredes de la pila sea de 25 cm. Se han definido, por último, para facilitar la ejecución de las mismas, acartelamientos de 20 x 20 cm en los cantos de dicha sección.

Por último, se ha definido el arco mediante una geometría parabólica, con una luz entre ejes de apoyos de 136 m y una flecha total de 39 m. La sección del mismo se ha definido rectangular, aligerada, y con una variación parabólica de sección que va desde los 3 x 2 m en sus apoyos dorsal y frontal hasta los 3 x 1,4 m en clave, de forma que el arco presente mayor sección en los puntos más solicitados.

### 5.8. Estudio hidráulico

A lo largo del Anejo IX: Estudio Hidráulico se pretende realizar el análisis de la interacción entre el tramo del cauce del Río Mijares y las estructuras previstas para cada alternativa. Así mismo, en caso de ser necesarias, se diseñarán las obras de ingeniería fluvial y medidas de protección oportunas para minimizar el impacto negativo producido por la socavación. Teniendo en cuenta el periodo de retorno de 100 y 500 años según la según la *Norma 5.2 - IC Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras* para comprobar la capacidad hidráulica del puente y las cimentaciones frente a los fenómenos de socavación localizada en las pilas y estribos en contacto con la lámina de agua

Para ello, se ha realizado un modelo hidráulico con el programa informático HEC-RAS, y con la ayuda de otros programas adicionales que han servido para crear la morfología del cauce.

A partir de los resultados de los caudales obtenidos en el en el anejo IV: Estudio Hidrológico se ha comprobado el funcionamiento hidráulico de nuestro modelo, obteniendo resultados como los que se muestran a continuación.

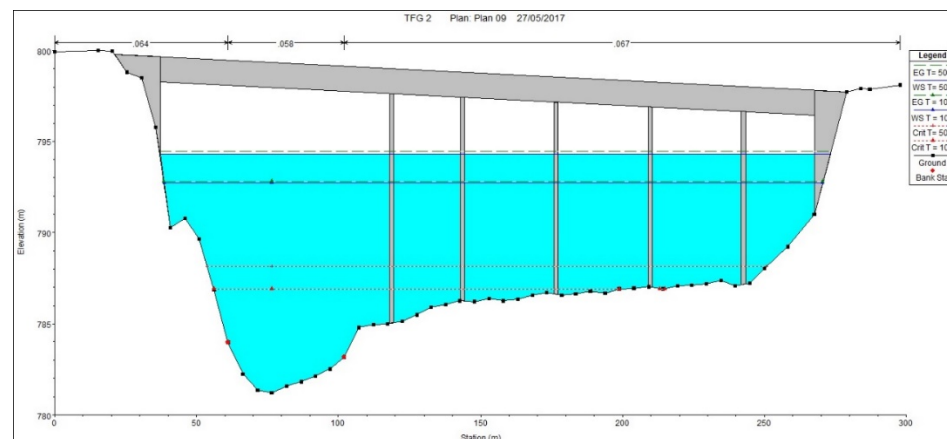


Figura 20: Sección y calado alcanzado en Alternativa 1. Fuente: HEC-RAS.

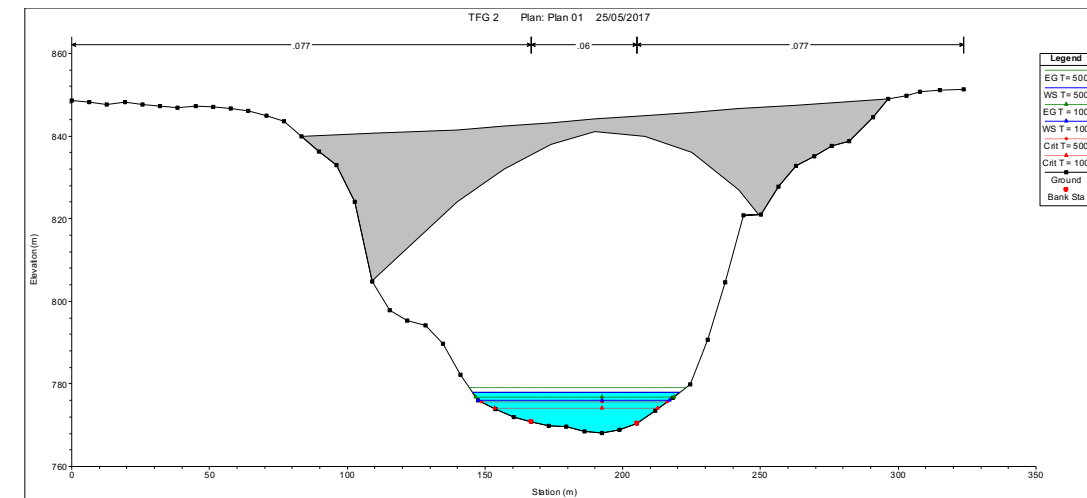


Figura 21: Sección y calado alcanzado en la Alternativa 2. Fuente: HEC-RAS.

El siguiente paso ha consistido en calcular la socavación en las pilas y estribos para la avenida de 500 años, y diseñar las medidas protectoras correspondientes, para ello HEC-RAS cuenta con ecuaciones implementadas, para el cálculo de la socavación local en pilas el método del (CSU) y la ecuación de Froehlich como alternativa, cómo el resultado era bastante similar se ha realizado el promedio de ambas. Para el cálculo de la socavación local en el estribo HEC-RAS cuenta con otras dos ecuaciones, la de Hire y Froehlich, en este caso se ha decidido emplear la de Froehlich porque  $\frac{L}{y_1} \leq 25$ , y obteniendo cómo resultado:

- Erosión localizada en las pilas → yse = 3.40 m
- Erosión localizada en el estribo derecho → 5.67 m

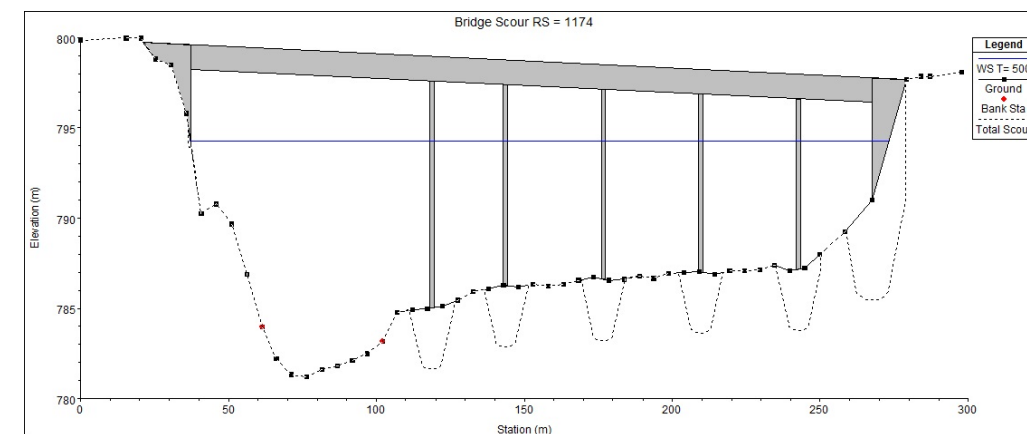


Figura 22: Representación de la socavación local de las pilas y estribos. Fuente: HEC-RAS.



Las medidas de protección consistirán en primer lugar, realizar una regulación de la margen con taludes 3H: 2V para evitar así taludes elevados, homogeneizando la sección y mejorando la capacidad hidráulica de la misma. A demás se dejará completamente horizontal la margen donde se apoyan las pilas con el fin de reducir la erosión desigual que se forma alrededor estas.

En segundo lugar, se dispondrán las protecciones locales y generales en las zonas de pilas y estribos. Para las pilas se dispondrá como protección local dos capas de  $D_{50}=0.52$  m, mientras que para el estibo se colocarán dos capas de escollera de  $D_{50} = 0.30$  m.

Por último, las medidas de protección general del cauce, consistirá en colocar una capa de escollera vertida de  $D_{50} = 0.30$  m. Esta protección se extenderá 25 metros tanto aguas arriba como aguas abajo de la estructura con el fin de establecer en las zonas propensas a la erosión una estabilidad y rugosidad suficientes para resistir las tensiones generadas por el paso del flujo

### 5.9. Drenaje longitudinal y transversal

El objetivo es el dimensionamiento de las obras de drenaje longitudinal y transversal a la carretera. La función del drenaje es fundamental para el correcto funcionamiento de las alternativas debido a que permite la evacuación de los caudales recogidos a lo largo de la carretera mediante el drenaje longitudinal y proporciona continuidad hidráulica a los cauces que atraviesan el trazado mediante el drenaje transversal.

En primer lugar, teniendo en cuenta las subcuencas e intercuencas halladas en el Anejo IV: Estudio Hidrológico y las curvas de nivel del terreno, se determinan las posiciones y los PKs de cada una de las obras de drenaje transversal, y consecuentemente, el inicio y fin de las obras de drenaje longitudinal.

En segundo lugar, se calculan los caudales de diseño para las obras de drenaje, tanto longitudinal como transversal. Los caudales de diseño de las longitudinales engloban los caudales de las intercuencas y los caudales que se forman sobre la propia plataforma de la carretera. Los caudales de diseño de las transversales recogen los caudales de las subcuencas y los provenientes del drenaje longitudinal por las canaletas.

Finalmente, se dimensionan las obras de drenaje. Tratando de proporcionar la mayor homogeneidad posible y quedando del lado de la seguridad, se toma como óptimas para una alternativa, las mayores dimensiones calculadas.

El resultado del cálculo hidráulico del drenaje longitudinal y transversal son las siguientes dimensiones para cada alternativa:

En cuanto al drenaje longitudinal, se ha optado por unas dimensiones de cuneta constantes en toda la traza de las alternativas. En ambas alternativas, debido a los valores de caudales similares, se ha escogido una canaleta de las mismas dimensiones.

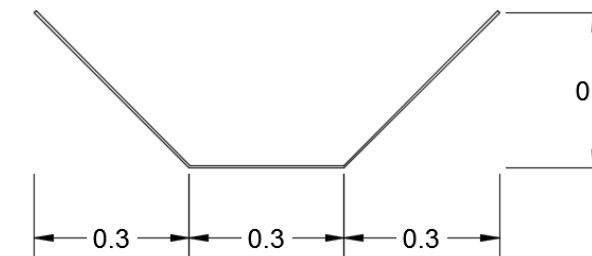


Figura 23: Sección canaleta adoptada

En cuanto al drenaje transversal, debido a la disparidad de los valores de los caudales de diseño, desde valores de  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$  hasta  $10.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , y debido a las características diferentes según la sección transversal del PK de la carretera en la que se encuentre, el resultado del dimensionamiento, por tanto, genera soluciones diversas, desde tubos de diámetro 0.5 hasta marcos de  $1.5 \times 1.5$ .

### 5.10. Estudio medioambiental

El objetivo del presente anejo es analizar los aspectos del medio ambiente a los que las alternativas propuestas a la carretera A-1515 pueden afectar negativamente, con el objetivo de valorar aspectos a los que pueda afectar cada una de las alternativas, como pueden ser el paisaje o riesgos geológicos, en función de diversos parámetros, como pueden ser la extensión y la posibilidad de actuar ante estos aspectos negativos, para finalmente poder afirmar cual es la alternativa más perjudicial desde el punto de vista medioambiental.

Para poder afirmar cuál de las alternativas propuestas es más perjudicial desde el punto de vista medioambiental ha sido necesario implementar tanto el trazado de la carretera actual como de las alternativas y también las capas que hacen referencia a cada una de las superficies que pueden afectar, las cuales han sido obtenidas del Instituto Geográfico de Aragón. Para ello ha sido necesario hacer uso del programa QGIS 2.18.

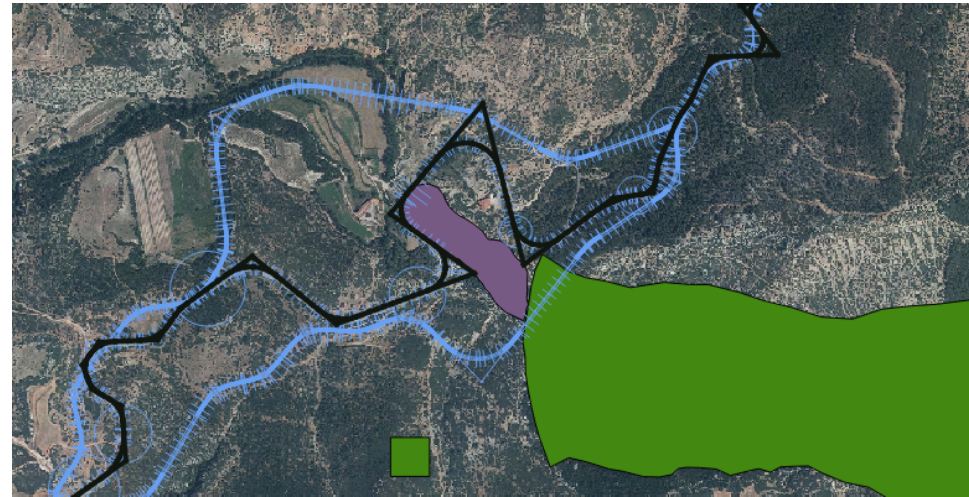


Figura 24: Trazados y un ejemplo de capas implementadas en QGIS. Fuente: QGIS 2.18.

Una vez observados cada uno de los impactos generados por cada una de las alternativas se ha valorado cada uno de ellos mediante el criterio de V. Conesa. Dicho criterio establece una serie de valores en función del carácter de los impactos, tales como si un impacto es beneficioso o si la extensión del mismo es extensa o parcial, por ejemplo.

Una vez asociados los valores correspondientes, haciendo uso del criterio mencionado, es necesario obtener la importancia de cada uno de los impactos mediante la siguiente fórmula

<b>I = IMPORTANCIA</b>
$I = \pm (3IN + 2EX + MO + PE + RE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$

Tabla 12: Fórmula para obtener la importancia en el criterio V. Conesa. Fuente: Introducción a la evaluación de impacto ambiental. Inmaculada Romero Gil.

La importancia de cada uno de los impactos se puede clasificar haciendo uso de la siguiente tabla:

Clasificación de los impactos	Intervalos Importancia (I)
Compatible	$0 \leq I < 25$
Moderado	$25 \leq I < 50$
Severo	$50 \leq I < 75$
Crítico	$75 \leq I$

Tabla 13: Intervalos para clasificar los impactos en función del valor importancia. Fuente: Introducción a la evaluación de impacto ambiental. Inmaculada Romero Gil.

Una vez obtenidas las importancias de cada uno de los impactos, si estas son sumadas, se obtendrá la valoración global de los impactos generados por cada una de las alternativas. El resultado de ello se puede observar en la siguiente tabla:

Estudio medioambiental	Valoración Criterio V. Conesa
Alternativa 1	-289
Alternativa 2	-369

Tabla 14: Valoración de impactos de cada una de las alternativas.

Por lo que se puede acabar afirmando que la alternativa 1 produce un menor impacto medioambiental que la alternativa 2.

### 5.11. Valoración económica

En el presente documento se lleva a cabo una relación valorada del coste económico asociado al conjunto de las unidades de obra previstas a ejecutar en el estudio de mejora.

La valoración económica se ha realizado mediante la definición de las unidades de obra correspondientes, siendo su importe el producto del precio unitario de cada una por su medición.



En las siguientes tablas se resumen los resultados generados para cada alternativa alternativas agrupados por capítulos, correspondiendo éstos a la base del presupuesto de la obra lineal. Cabe destacar que el capítulo de obras hidráulicas aparece únicamente en la Alternativa 1, dado que el puente existente en la Alternativa 2 no genera ninguna afección al cauce.

CAPÍTULO	IMPORTE (€)	PESO (%)
Movimiento de tierras y demoliciones	3051631.51	50.38
Firmes y pavimentos	1052999.00	17.39
Obras hidráulicas	144987.07	2.39
Puente sobre el río Mijares	1807272.64	29.84
<b>TOTAL</b>	<b>6 056 890.22</b>	

Tabla 15: Presupuesto de ejecución material Alternativa 1.

CAPÍTULO	IMPORTE (€)	PESO (%)
Movimiento de tierras y demoliciones	2925726.09	48.30
Firmes y pavimentos	965132.71	15.93
Puente sobre el río Mijares	2508082.42	41.41
<b>TOTAL</b>	<b>6 398 941.22</b>	

Tabla 16: Presupuesto de ejecución material Alternativa 2.

Una vez conocidos los presupuestos de ejecución material, se incrementará este valor en un 13% por gastos generales y en un 6% por beneficio industrial para obtener el presupuesto base de licitación antes de impuestos. Finalmente, se tendrá en cuenta el IVA actual (21%) para hallar el presupuesto base de licitación.

## 6. VALORACIÓN GLOBAL DE LAS ALTERNATIVAS

Finalmente, se procede a realizar una evaluación global de ambas alternativas en base a los resultados obtenidos en cada uno de los apartados anteriores. Para ello, se ha optado por valorar cinco criterios distintos: nivel de servicio, seguridad vial, medioambiental, impacto visual y paisajístico y valoración económica.

Cada uno de estos criterios ha recibido una nota y una ponderación. Se ha optado por utilizar un rango de notas de 1 a 10: la nota mínima (1) equivale a la no generación de ninguna afección negativa y la mayor nota (10) representa un impacto máximo. Por tanto, la alternativa más ventajosa será aquella que obtenga una calificación más próxima a 1. En cuanto a la ponderación, los pesos utilizados suman un porcentaje total del 100%. Una vez establecido el método de comparación, se procede a valorar los distintos criterios:

### - NIVEL DE SERVICIO

El nivel de servicio hace referencia esencialmente a la comodidad de circulación del tráfico existente en la carretera y no es valor que represente de modo directo el estado de seguridad vial de la carretera, por tanto, se ha considerado que pondera únicamente un 10% respecto al total.

Como se puede observar en la siguiente tabla, con las dos alternativas planteadas se logra alcanzar el nivel de servicio máximo, es decir, ambas mejoran la circulación de la carretera actual. Sin embargo, en la Alternativa 1 se obtiene un menor porcentaje de tiempo en cola y se ha optado por plasmar esta diferencia en las notas asignando un 1 a la mejor alternativa (la 1) y un 2 a la Alternativa 2.





	Actual				Actual + Alt.1				Actual + Alt.2			
	Hacia Rubielos de Mora		Hacia A. Mudéjar		Hacia Rubielos de Mora		Hacia A. Mudéjar		Hacia Rubielos de Mora		Hacia A. Mudéjar	
	PTSF	NS	PTSF	NS	PTSF	NS	PTSF	NS	PTSF	NS	PTSF	NS
Actual (2017)	51.64	B	5.91	A	30.32	A	4.09	A	31.02	A	4.13	A
Puesta en servicio (2020)	52.14	B	5.98	A	30.82	A	4.16	A	31.52	A	4.21	A
Año horizonte (2040)	55.97	C	6.50	A	34.65	A	4.68	A	35.35	A	4.72	A

Tabla 17: Estudio nivel de servicio.

- SEGURIDAD VIAL

Teniendo en cuenta que la seguridad vial es un factor que repercute de forma directa en los usuarios, se ha considerado necesario asignarle un peso relativamente alto: 25%. Este criterio se ha dividido en tres subcriterios para facilitar su evaluación: consistencia local, consistencia global y accidentabilidad.

En primer lugar, se ha empleado el estudio de consistencia local. Debido a que se trata de un factor que trata los elementos de la carretera de forma individual, se ha optado por asignarle la ponderación más baja dentro del criterio de seguridad vial, un 5%.

En la siguiente tabla se puede observar que ambas alternativas mejoran significativamente la consistencia local del trazado, en especial la Alternativa 2. Las dos alternativas eliminan todas las inconsistencias malas, que implicarían un rediseño del trazado.

No obstante, no logran eliminar al completo las inconsistencias aceptables. Es por este motivo que las calificaciones asignadas han sido: un 4 para la Alternativa 1 y un 3 para la Alternativa 2.

CONSISTENCIA LOCAL	Aceptable		Mala	
	Sentido ida	Sentido vuelta	Sentido ida	Sentido vuelta
Actual	10	9	7	12
Actual + Alternativa 1	9	7	0	0
Actual + Alternativa 2	6	7	0	0

Tabla 18: Estudio consistencia local alternativas .

En segundo lugar, se ha valorado la consistencia global de las alternativas planteadas, así como su accidentabilidad. Se ha considerado ambos factores igualmente relevantes y, por tanto, su ponderación será igual a 10%. En la siguiente tabla se puede observar como ambos factores mejoran con cualquiera de las alternativas, sin embargo, el cambio es algo más significativo en la Alternativa 2. Teniendo en cuenta que el número de accidentes no se ha eliminado totalmente, las calificaciones obtenidas serán, de nuevo, un 4 para la Alternativa 1 y un 3 para la Alternativa 2.

	Actual	Act+Alt1	Act+Alt2
	C	C	C
	2.426	2.452	2.516
	1.792	1.613	1.808
	2.426	2.119	2.689
	2.397	3.050	2.545
Y <sub>10</sub>	40.63	36.99	35.32

Tabla 19: Estudio consistencia global y accidentabilidad.





- MEDIOAMBIENTAL

Atendiendo a la localización de la obra, se ha decidido otorgar una especial importancia al factor medioambiental. Por ello, es el criterio con mayor peso: 30%.

Tras analizar ambas alternativas, se ha concluido que cualquier opción generaría un impacto relevante en el ecosistema, puesto que ambas alternativas afectan a superficies de importancia, tales como zonas protegidas. Sin embargo, el impacto de la Alternativa 1 es algo menor y, por tanto, se ha puntuado a ésta con un 6 y a la Alternativa 2 con un 8.

Estudio medioambiental	Valoración Criterio V. Conesa
Alternativa 1	-289
Alternativa 2	-369

Tabla 20: Valoración medioambiental criterio V.Conesa.

- IMPACTO VISUAL Y PAISAJÍSTICO

La obra se encuentra en una zona que presenta un elevado valor paisajístico y, por tanto, es necesario considerar el impacto que generarán las infraestructuras. A pesar de la importancia de este criterio, se le ha asignado un peso del 10%, dado que no afecta directamente ni al usuario ni al ecosistema.

Ambas alternativas presentan un puente sobre el río Mijares y generan, por tanto, un impacto visual significativo. Tras analizar las dos opciones, se ha concluido que la Alternativa 1 queda más integrada en la zona principalmente por tres motivos: el primer tramo es de vano continuos y genera una sensación de mayor ligereza, las dimensiones del arco son menores y la altura a la que se encuentra situado es muy inferior, por lo que interfiere menos con nuestra visión global de la zona. Por ello, se ha valorado la primera alternativa con un 5 y la segunda con un 6.

- VALORACIÓN ECONÓMICA

Claramente, el presupuesto de la obra es un factor esencial a la hora de elegir una alternativa. Por tanto, se le ha asignado un peso del 25%.

Tras realizar la relación valorada de ambas alternativas, se puede observar como la Alternativa 1 presenta claras ventajas económicas. Esto es debido principalmente a que el importe del puente es bastante inferior. Por tanto, se ha optado por poner una nota de 2 a

la Alternativa 1 y de 3 a la Alternativa 2. En la siguiente tabla se pueden observar los presupuestos de ejecución material finales de forma resumida organizada por capítulos.

CAPÍTULO	IMPORTE (€)	
	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Movimiento de tierras y demoliciones	3 051 631.51	2 925 726.09
Firmes y pavimentos	1 052 999.00	965 132.71
Obras hidráulicas	144 987.07	0.00
Puente sobre el río Mijares	1 807 272.64	2 508 082.42
<b>TOTAL</b>	<b>6 056 890.22</b>	<b>6 398 941.22</b>

Tabla 21: Presupuestos de ejecución material.

Una vez conocidos los pesos y los valores de cada uno de los criterios para ambas alternativas, se ha elaborado una tabla en la que se realiza su comparación:

	Pesos (%)	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Nivel de Servicio	10	1	2
Consistencia local	5	4	3
Consistencia global	10	4	3
Accidentabilidad	10	4	3
Medioambiental	30	6	8
Impacto visual y paisajístico	10	5	6
Valoración económica	25	2	3
<b>TOTAL ALTERNATIVA</b>	<b>100</b>	<b>3.9</b>	<b>4.7</b>

Tabla 22: Evaluación global alternativas.



## 7. CONCLUSIONES

Atendiendo a los resultados obtenidos, se puede concluir que la construcción de ambas carreteras resultaría beneficiosa para los usuarios sin generar un gran impacto, dado que las dos alternativas han obtenido una calificación global menor a 5, y que la Alternativa 1 sería la mejor opción.

La Alternativa 1 iguala o supera a la Alternativa 2 en todos los criterios. Concretamente, presenta ventajas en dos de los factores más relevantes: valoración económica y medio ambiente. Por tanto, ha sido seleccionada como la alternativa más adecuada entre las dos soluciones planteadas.

Valencia, junio de 2017

Fdo:

*Joel García Fernández*

*Adrián Martínez Biosca*

*Román Martínez López*

*Inés María Pueyo Estada*

*Carlos Ruano Cachinero*

*Ignacio Rubio Villalba*

*Araceli Viñarta Carbó*