



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS



Trabajo final de grado

# ESTUDIO DE LOS ASIENTOS DE LA PLATAFORMA DE LA AP-7 EN EL ENTORNO DE LA ESTRUCTURA DE LA CALZADA SENTIDO CARTAGENA DEL PK 733+000. CATRAL (ALICANTE). ESTUDIO DE SOLUCIONES.



TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Civil  
Curso: 2016/2017

AUTORES: Eva Gil Garcerá

Valencia, septiembre de 2017

TUTOR: Álvaro Cuadrado Tarodo





## CONTENIDO GENERAL

### DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA

ANEJO Nº1: ANTECEDENTES

ANEJO Nº 2: CARTOGRAFÍA

ANEJO Nº 3: GEOLOGÍA

ANEJO Nº 4: CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA

ANEJO Nº 5: PLANEAMIENTO Y TRÁFICO

ANEJO Nº 6: ESTUDIO GEOTÉCNICO

ANEJO Nº 7: FIRMES Y PAVIMENTOS

ANEJO Nº 8: TRAZADO

ANEJO Nº 9: DRENAJE

ANEJO Nº 10: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS

ANEJO Nº 11: ESTRUCTURAS

ANEJO Nº 12: SOLUCIONES PROPUESTAS AL TRÁFICO DURANTE LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

ANEJO Nº 13: INTEGRACIÓN AMBIENTAL

### DOCUMENTO Nº 2: PLANOS

### DOCUMENTO Nº 3: VALORACIÓN ECONÓMICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

ESTUDIO DE LOS ASIENTOS DE LA PLATAFORMA DE LA AP-7 EN EL ENTORNO DE LA ESTRUCTURA DE LA CALZADA SENTIDO CARTAGENA DEL PK 733+000. CATRAL (ALICANTE).





# DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA

Curso 2016-2017  
Valencia, septiembre 2017

Grado en Ingeniería Civil  
Tutor: Álvaro Cuadrado Tarodo

Autores: Eva Gil Garcerá  
Belén Sirvent Mira



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

ESTUDIO DE LOS ASIENTOS DE LA PLATAFORMA DE LA AP-7 EN EL ENTORNO DE LA ESTRUCTURA DE LA CALZADA SENTIDO CARTAGENA DEL PK 733+000. CATRAL (ALICANTE).





## ÍNDICE

<b>1. OBJETO.....</b>	<b>5</b>
1.1. DESCRIPCIÓN .....	5
1.2. ALCANCE.....	5
1.3. OBJETIVO .....	5
1.4. PLAN DE TRABAJO.....	5
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>5</b>
<b>3. LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>4. SITUACIÓN ACTUAL .....</b>	<b>6</b>
4.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO.....	6
4.2. DEFICIENCIAS DE TRAZADO .....	6
4.3. DEFICIENCIAS DE DRENAJE.....	6
4.4. DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES.....	7
4.5. PROBLEMÁTICA GEOTÉCNICA .....	7
4.5.1. ESTUDIO GEOTÉCNICO .....	7
4.5.2. PROBLEMÁTICA .....	7
4.6. FOTOGRAFÍAS ACTUALES .....	8
<b>5. CONDICIONANTES Y LIMITACIONES .....</b>	<b>9</b>
5.1. GENERALES.....	9
5.2. TERRITORIALES, FÍSICO Y MEDIOAMBIENTALES.....	9
5.3. SOCIALES .....	9
<b>6. ESTUDIO DE SOLUCIONES .....</b>	<b>10</b>
6.1. DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL TRAZADO .....	10
6.2. DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOTÉCNICO Y ESTRUCTURAL .....	10
6.2.1. ALTERNATIVAS.....	10
<b>7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....</b>	<b>11</b>
7.1. FIRMES .....	11
7.1.1. CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO.....	12
7.1.2. ZONA DE TERRAPLÉN .....	12
7.1.3. TABLERO EXTERIOR.....	12
7.1.4. TABLERO CENTRAL .....	12
7.2. TRAZADO.....	12
7.3. GEOTÉCNIA .....	13
7.4. DRENAJE .....	13
<b>8. DESVÍO DE TRÁFICO DURANTE LAS OBRAS.....</b>	<b>13</b>
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>14</b>



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

ESTUDIO DE LOS ASIENTOS DE LA PLATAFORMA DE LA AP-7 EN EL ENTORNO DE LA ESTRUCTURA DE LA CALZADA SENTIDO CARTAGENA DEL PK 733+000. CATRAL (ALICANTE).





## 1. OBJETO

### 1.1. DESCRIPCIÓN

El presente trabajo consiste en realizar un estudio de las deformaciones permanentes producidas en el pavimento de la calzada y proposición de soluciones para la mejora de ésta en la estructura del PK 733+000 de la AP-7 a su paso por la localidad alicantina de Catral.

### 1.2. ALCANCE

Partiendo de la solución del proyecto que se construyó y analizando las distintas soluciones a la problemática, se buscará la solución óptima valorándola económicamente.

### 1.3. OBJETIVO

Se pretende poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo del Grado en Ingeniería Civil analizando la patología detectada en el entorno de las estructuras del PK 733+000 de la AP-7, proponiendo soluciones a la problemática actual, que genera problemas de seguridad vial debido a los asentamientos de las calzadas.

### 1.4. PLAN DE TRABAJO

El trabajo se ha realizado entre dos personas trabajando en equipo para la recopilación de información inicial y así poder realizar con posterioridad, cada miembro, su estudio particular, ya que los apartados que corresponden a este TFG se han dividido entre ambas de forma equitativa.

Los apartados que se han realizado conjuntamente son los siguientes:

- Antecedentes y situación actual
- Condicionantes y limitaciones
- Localización y emplazamiento
- Integración ambiental

Y los que se han llevado a cabo de forma individual son:

- Eva Gil Garcerá: Estudio de tráfico y trazado, estudio de firme y estudio del pavimento. Estudio de soluciones final y descripción de la solución adoptada.
- Belén Sirvent Mira: Estudio geotécnico y estructural. Valoración económica.

Las dos componentes del grupo hemos trabajado de forma conjunta a la vez que individualmente durante toda la elaboración del presente trabajo final de grado, TFG, por lo que éste representa el esfuerzo y trabajo colectivo de las dos componentes.

Para ello, hemos contado con información proporcionada por nuestro tutor, la cual principalmente consta de datos extraídos directamente del proyecto original, así como de proyectos similares de tramos de esta autopista cercanos a la zona cuya información ha sido de bastante utilidad en la redacción del presente trabajo.

## 2. ANTECEDENTES

La construcción de esta nueva carretera, donde se encuentra la estructura de estudio, se hizo con el objetivo de mejorar y facilitar las comunicaciones vía terrestre del litoral mediterráneo y satisfacer las necesidades de sus usuarios, proporcionando seguridad y confort para éstos. Hasta el año 2004, con el cambio de la denominación de carreteras, recibía el nombre de A-37. Siendo actualmente conocida como AP-7 o Autopista del Mediterráneo.

Las obras comenzaron en el año 1999 y fueron llevadas a cabo por la empresa PLODER S.A., siendo la empresa concesionaria del tramo donde se encuentra la estructura de estudio Ausur S.A.

En el proyecto original la estructura se diseñó como un paso inferior de vigas artesa con cinco vanos, quedando una longitud total de 102,00 metros. Las luces de cálculo eran de 18,60 m. en vanos extremos, 18,20 m. en los vanos dos y cuatro, y 25,20 m. en el vano central.

Las vigas artesa se diseñaron de canto constante de 1,10 m. y el peralte a la curva se le daba con el tablero, el cual se diseñó con un espesor de 0,25 m, que se ha mantenido. Y en cuanto al ancho del tablero, éste recibía en el proyecto original un valor de unos 11,40 m.

Los estribos, igual que en la actualidad, eran flotantes con un cuerpo de espesor de 1,15 m.

Las pilas también se mantienen desde el proyecto original, de fuste circular de 1,00 m. de diámetro, con capiteles base de 1,00 x 1,00 m. y coronación de 2,00 x 1,50 m. Cimentadas sobre pilotes prefabricados de dimensiones 0,35 x 0,35 m.

Dicha cimentación, en el proyecto original se diseñó para realizarse sobre un encepado por pila de 4,90 x 3,60 m. con 10 pilotes por cada encepado.

Sin embargo, el proyecto original sufrió una modificación cambiándose algunos de los parámetros y dimensiones mencionadas.

Por otro lado, el tipo de terreno que aparece en el emplazamiento es de baja calidad, siendo principalmente un terreno blando formado básicamente por alternancias de arcillas y arenas, con presencia de marismas y restos orgánicos.

## 3. LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

La estructura de estudio, de la cual trata el presente TFG, se encuentra en las proximidades del municipio alicantino de Catral, y forma parte del tramo Crevillente-Vera de la Autopista del Mediterráneo (AP-7), estando situada actualmente en el p.k. 733+000 de la misma.

Como se puede observar en la imagen siguiente y en el "ANEJO Nº 1: ANTECEDENTES", hay una estructura para cada sentido, pero en concreto los estudios a realizar serán de la correspondiente al sentido hacia Cartagena.

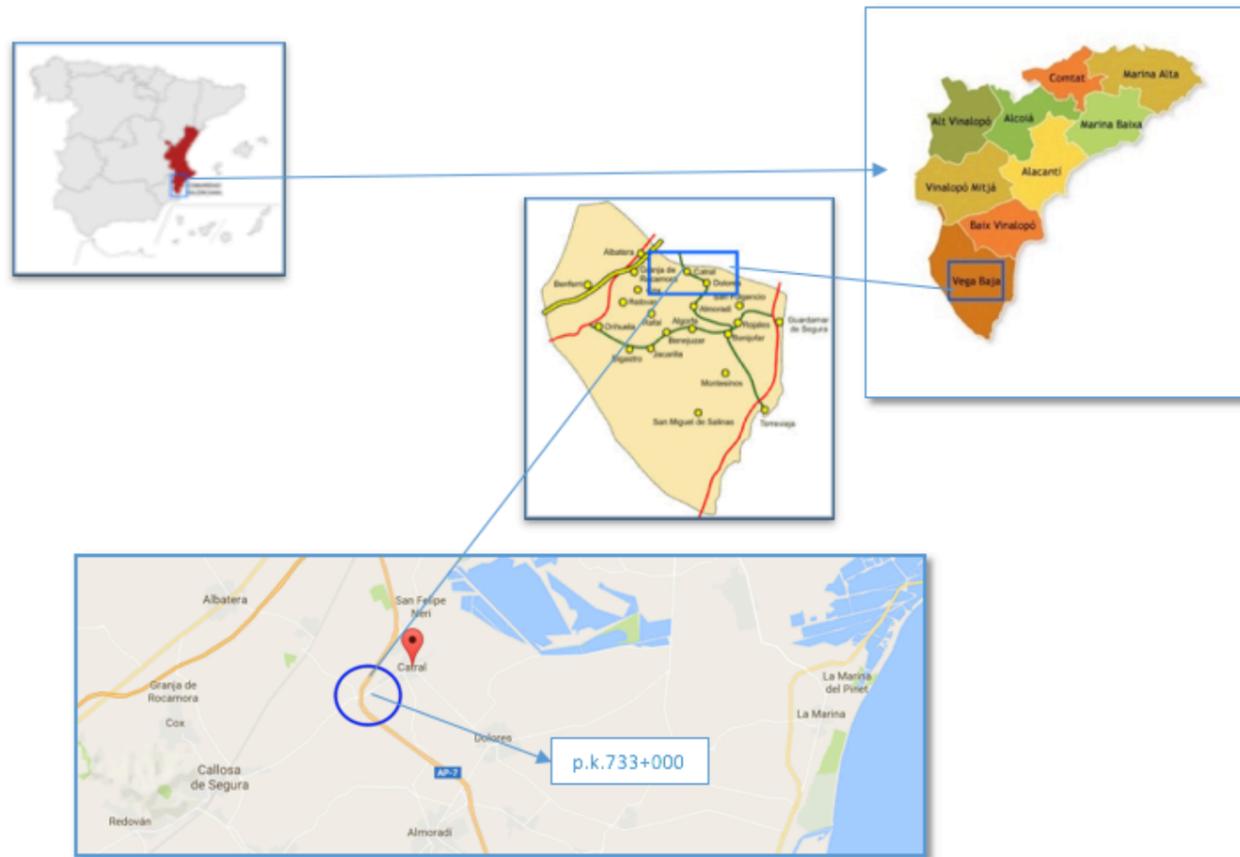


Figura 1. Localización de la estructura. Fuente: Google Maps.

## 4. SITUACIÓN ACTUAL

El estudio de soluciones en el que consiste el presente trabajo es sobre la patología detectada en la estructura mencionada anteriormente.

Como ya se ha mencionado, el proyecto original sufrió una modificación, la cual corresponde a la actual estructura que podemos encontrar hoy en día en el p.k. 733+000 de la AP-7 sentido Cartagena.

### 4.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO

Según los datos del Ministerio de Fomento de España, nuestro tramo de estudio soporta un tráfico diario de 27644 vehículos diarios. El cual tiene un volumen de pesados en torno al 11%. Debido a que no existen datos precisos, se ha estimado que, al tratarse de una calzada de dos carriles con un sentido de circulación, cada uno de los carriles soportara la mitad del total de vehículos.

Teniendo en cuenta que el presente estudio se redacta en el año 2017, se establece el año de puesta en servicio en 2019. Utilizando el factor acumulativo que tiene en cuenta el crecimiento del tráfico estimado, hemos hallado la IMD para el año de puesta en servicio.

Estación	A-507-4			A-508-4			A-509-4			A-510-4			
	IMD	Total	Pesados	%pesados									
2019		22367	2536	11,34	26433	2835	10,72	28446	3061	10,76	28245	3656	12,94

Tabla 1. IMD estaciones de aforo AP-7 en el P.K. 732-734, en el año 2019.

En nuestro tramo de estudio disponemos de cuatro estaciones de aforo. A la hora de calcular la IMD y nivel de servicio hemos tenido en cuenta cada una de las estaciones. Pero a la hora de utilizar una IMD para posteriores cálculos de firmes, hemos utilizado la IMD de la estación A-509-4, ya que es la que registra un mayor número de vehículos por día.

El nivel de servicio en el P.K. 733 de la AP-7 se establece mediante lo dispuesto en el Manual de Capacidad del Transportation Research de los Estados Unidos de América (HCM 2010). Obteniendo un nivel de servicio actual C.

En el ANEJO N° 5 TRÁFICO hemos calculado el nivel de servicio hasta el año horizonte, el cual nos sigue dando nivel C. en este anejo podremos observar todos los cálculos y justificaciones realizadas para obtener estos datos.

### 4.2. DEFICIENCIAS DE TRAZADO

Una vez estudiado el trazado actual de nuestro tramo y comparado con la nueva norma 3.1-IC Trazado aprobada en 2016, hemos comprobado como el trazado en planta es correcto a excepción de algunas limitaciones en longitud de recta entre dos curvas. Pero se puede observar cómo ha sido necesario forzar esto seguramente por motivos de expropiaciones y parcelas cercanas a la autopista, por lo que el incumplimiento de la norma quedaría justificado. Respecto al trazado en alzado, sí que hemos observado un claro problema de visibilidad en nuestra estructura y su envolvente. La velocidad en este tramo ya ha sido reducida a 100 Km/h, siendo el resto de trazado a 120 Km/h, pero tal y como se ha estudiado en el ANEJO N° 8: TRAZADO, a pesar de la reducción de la velocidad, sigue habiendo problemas elevados de visibilidad.

Además de lo comentado, el problema mayor es el que se ha producido en los estribos del puente al haber asentado 34 cm en ambos lados. Esto ha provocado un bache en la rasante, que agravado por la alta velocidad a la que se circula por la carretera, hace que la circulación por este tramo sea peligroso y necesario de una actuación sobre este.

### 4.3. DEFICIENCIAS DE DRENAJE

Después de estudiar con detalle los sistemas de drenaje actual de nuestro tramo, y los problemas que se han producido en la estructura debido al agua, hemos llegado a la conclusión de que la zona necesita una mejora de los sistemas de drenaje del agua.

Los actuales sistemas de drenaje longitudinal están en mal estado, ya que algunos de estos están acabados en tierra natural, lo que ha provocado que el agua los erosione y deteriore bastante. Y además

hemos observado una clara intrusión del agua en los estribos del puente, lo que puede haber agravado sus problemas de asentamiento. Esto se debe a que no se dispusieron los elementos de drenaje necesarios para estribos. El agua sencillamente desliza sobre la tierra que forma los estribos.

También se ha observado un problema con el paso del agua de la zona Oeste del puente a la zona Este del mismo. En el estribo 2, el paso de la acequia Mayor de Callosa recoge el agua que proviene de los terraplenes y de la carretera inferior a nuestra estructura. Pero en el estribo 1, no se dispone de ningún sistema de recogida de aguas pluviales, por lo que en la zona baja del terraplén se acumulan las aguas que vienen del drenaje longitudinal y las aguas que se acumulan en la subcuenca que se genera al Oeste de la carretera. Con todo esto, se produce una zona de acumulación de aguas en la base del estribo que agrava los problemas con los movimientos de este.

#### 4.4. DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES

La obra actual está formada por tres vanos, con una longitud total de 64,20 m., siendo las luces de cálculo de 19,37 m. para los vanos extremos y 25,88 m. para el vano central. Las vigas artenas pasaron de diseñarse de canto constante a canto variable, con mínimo de 1,20 m en función del peralte de la carretera. El ancho de la carretera actual es de 11,10 m. aproximadamente.

En cuanto a las pilas, éstas mantienen su forma y dimensiones del proyecto original realizándose cambios únicamente en el encepado de las mismas, en el cual finalmente se colocaron ocho pilotes por cada encepado de 0,35 x 0,35 m. cada uno.

Tras haber visitado la estructura personalmente, las principales deficiencias estructurales que observamos están en los estribos, los cuales han sufrido asentamientos de elevada importancia. Además, los aparatos de apoyo y la parte superior del tablero se encuentran deteriorados en diferentes puntos (como se puede observar en las siguientes imágenes), lo cual son signos de evidencia de la problemática detectada.

#### 4.5. PROBLEMÁTICA GEOTÉCNICA

##### 4.5.1. ESTUDIO GEOTÉCNICO

En el anejo correspondiente al estudio geotécnico de la zona de estudio, que es el "ANEJO N° 6: ESTUDIO GEOTÉCNICO", quedan especificadas todas las características estudiadas e interpretadas de los resultados de los ensayos y trabajos de campo realizados en el emplazamiento de la obra tanto antes de su construcción como durante y después de ésta.

Dicha información se ha obtenido gracias a que nuestro tutor nos ha proporcionado algunos datos sobre el proyecto original y el proyecto modificado, como por ejemplo, el Informe de asistencia geotécnica durante las obras, el cual data del año 2000.

A continuación se presenta un cuadro resumen de las características geotécnicas del terreno existente que se consideran de mayor importancia para el desarrollo de las actuaciones propuestas en el presente trabajo.

CUADRO RESUMEN TERRENO EXISTENTE								
MATERIAL	SUCS	ESPESOR	CONSISTENCIA	EXPANSIVO	AGRESIVIDAD	S <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	C (kPa)	φ
Arcilla	CL	2.00 m	Muy firme a dura	Sí	Sulfatos y cloruros	-	12	-
50% arcilla – 50% arena	CL – S	14.00 a 14.50 m	Arcilla firme y arena floja a med. densa	Sí	Sulfatos y cloruros	118,94	5	36
Arcilla	CL	5.50 m	Firme	Sí	Sulfatos y cloruros	117,11	5 6	29
70% arcilla – 30% arena	CL - S	22.00 m	Arcilla firme y arena floja a med. densa	Sí	Sulfatos y cloruros	129,98	6 10	31

Tabla 2. Cuadro resumen del terreno existente en la zona. Fuente: propia a partir de información del proyecto original y modificado.

Para facilitar algunos cálculos y conclusiones a la hora de seleccionar la alternativa adecuada, a pesar de que el terreno no es homogéneo en toda su profundidad, los diferentes espesores considerados presentan características muy similares, muy baja calidad, o del mismo orden de magnitud, es por ello que suponemos todo el terreno como un todo con las siguientes características principales:

Parámetro	Valor
N <sub>spt</sub>	7
Compacidad de las arenas	floja
N.F.	-1,5 m
S <sub>u</sub>	122,01 kN/m <sup>2</sup>
γ <sub>seco</sub>	16,677 kN/m <sup>3</sup>
Ángulo de rozamiento	32°

Tabla 3. Principales parámetros geotécnicos. Fuente: propia a partir de información del proyecto original y modificado.

##### 4.5.2. PROBLEMÁTICA

Tras realizarse el estudio geotécnico correspondiente como ya se ha mencionado en el apartado anterior, que se encuentra de forma detallada en el "ANEJO N° 6: ESTUDIO GEOTÉCNICO", a partir de la información proporcionada del Proyecto Original Modificado, y analizando los resultados que se obtuvieron y comparando con la situación actual de la estructura se llega a que ésta ha sufrido asentamientos tanto en las pilas como en sus estribos, lo cual ha provocado la aparición de inestabilidades principalmente en estos últimos.

La principal patología detectada es que los asentamientos en los estribos del puente han ido aumentando de forma considerable con el paso de los años, como ya se preveía en el año 1999, pues cabe destacar que en los estudios geotécnicos iniciales para la construcción de esta estructura y en estudios posteriores a ello, ya se habían detectado asentamientos diferenciales en los estribos de la misma. Siendo éstos del orden de 17 centímetros entre pilas y estribo. En la siguiente tabla se expone de forma resumida el valor aproximado de los asentamientos conocidos.

ESTUDIO DE LOS ASIENTOS DE LA PLATAFORMA DE LA AP-7 EN EL ENTORNO DE LA ESTRUCTURA DE LA CALZADA SENTIDO CARTAGENA DEL PK 733+000. CATRAL (ALICANTE).

ASIENTOS ESTUDIADOS	
S <sub>inicial</sub>	17 cm
S <sub>2000</sub>	20 cm
S <sub>actual</sub>	32 cm

Tabla 4. Resumen de los asentamientos producidos.  
Fuente: Proyecto original y Proyecto modificado.

Es por ello que se proponen una serie de soluciones y alternativas, tanto en cuanto a trazado y firmes se refiere como geotécnica y estructuralmente, buscando la mejor concordancia entre ambas para conseguir su reparación y con ello su mejora, en la medida de lo posible.

Además, debido a que la naturaleza del terreno existente era conocida gracias a los trabajos de campo realizados, y sabiendo que existía presencia de capas de arena, como se expone en el apartado anterior, se estimó que la velocidad de avance de dichos asentamientos en los estribos sería relativamente elevada, previéndose un periodo de unos 3 meses aproximadamente para la producción del 90% de los asentamientos previstos.

Y es por esta razón por la que en el mismo proyecto modificado se proponían una serie de medidas correctoras para solucionar esto en el futuro, ya que así los asentamientos esperados se podían considerar aceptables. Entre dichas medidas podemos encontrar las siguientes:

- Levantamiento del tablero para ajustar la rasante en el futuro. (Solución que a día de hoy supone un elevado coste y múltiples inconvenientes constructivos, destacando el desvío del tráfico durante tiempo prolongado).
- Posibilidad de arreglar los desperfectos del firme que se pudieran ocasionar.

#### 4.6. FOTOGRAFÍAS ACTUALES

A continuación se exponen una serie de fotografías de la situación actual de la estructura. Éstas han sido tomadas en el mes de Julio de 2017.

En ellas se pueden apreciar claramente las patologías detectadas para las cuales se realiza el presente estudio de soluciones tanto desde el punto de vista geotécnico y estructural como del firme y el trazado de la carretera.

Cabe destacar que la selección de fotografías se ha hecho con el fin de poder exponer de forma general la situación actual del emplazamiento, pero a lo largo de los anejos de este documento se puede encontrar un mayor número de ellas donde se aprecia con mayor detalle cada uno de sus aspectos.



Figura 2. Alzado general estructura P.K. 733+000 de la AP-7. Fuente: propia.



Figura 3. Detalle del estribo 1. Fuente: propia.



Figura 4. Detalle del estribo 2 y grietas en el terreno. Fuente: propia.



Figura 5. Detalle pavimento y cambio de rasante pronunciado. Fuente: propia.



Figura 6. Drenaje de la estructura. Fuente: propia.



Figura 7. Agrietamiento en el estribo 1. Fuente: propia.



Figura 8. Detalle y grietas del estribo 1. Fuente: propia.

## 5. CONDICIONANTES Y LIMITACIONES

A continuación, se agrupan por categorías los condicionantes y limitaciones de la estructura con el fin de que tras el estudio de soluciones presentado, ésta se ajuste en la mayor medida posible al entorno y se pueda mejorar y/o solucionar la patología detectada.

### 5.1. GENERALES

En general, los principales condicionantes con los que nos hemos encontrado a la hora de llevar a cabo la realización de este trabajo ha sido la falta de información reciente, ya que hemos tenido que trabajar con datos poco actualizados y suponer algunos otros, sobretodo desde el punto de vista geotécnico, estructural, y de firmes y drenaje. En cambio, para los estudios de trazado la información ha sido bastante clara y actual.

### 5.2. TERRITORIALES, FÍSICO Y MEDIOAMBIENTALES

Desde el punto de vista territorial, físico y medioambiental a la hora de proponer las diferentes alternativas para solucionar la patología detectada, se han tenido en cuenta los siguientes factores:

- La cercanía con el Paraje Natural de El Hondo, donde existen numerosas aves protegidas y especies sensibles. Sin embargo, gracias a estudios realizados y la información de la zona no se ha detectado presencia de éstas en el lugar de emplazamiento. Pero se considerará a la hora de estudiar las diferentes alternativas ya que no se descarta la posibilidad de la presencia esporádica de éstas.
- Presencia de series de vegetación escasa, se encuentran series climatófilas.
- Terreno existente básicamente formado por alternancias de arcillas y arenas, con presencia de marismas y restos orgánicos. De muy baja calidad y baja capacidad portante.
- Nivel freático a escasa profundidad.
- Dimensiones limitadas en cuanto a cimentación se refiere por la cercanía de la estructura contigua.
- Viviendas y casas de campo a escasos metros de la estructura.
- Elevada cercanía con el municipio de Catral. Lo que limita los niveles de ruido durante y tras las obras.

### 5.3. SOCIALES

En cuanto a los condicionantes y limitaciones sociales que hemos tenido en cuenta al realizar el presente trabajo, quedan detallados en el "ANEJO N° 12: INTEGRACIÓN AMBIENTAL" al igual que los condicionantes y limitaciones territoriales, físico y medioambientales.

Cabe destacar, como queda justificado en el "ANEJO N° 5: PLANEAMIENTO Y TRÁFICO", que la carretera de la que forma parte la estructura de estudio, la Autopista del Mediterráneo, es una infraestructura de las de mayor tráfico en España, y de elevada importancia desde el punto de vista de los movimientos terrestres de la zona.

Como ya se ha destacado en otros apartados de este documento, el objetivo con el que se construyó esta carretera y con ella la estructura de estudio, fue la mejora de las comunicaciones vía terrestre en el litoral mediterráneo, ya que además de ser relevante para el transporte de



mercancías debido a la alta actividad agrícola de la zona, se trata de una zona de elevada importancia turística para nuestro país.

Son estas y muchas otras razones, que quedan detalladas en el anejo correspondiente, las que justifican la necesidad de buscar una solución para mejorar el confort de los usuarios de esta carretera y por tanto, en la estructura de estudio. Los asentamientos que se han producido en los estribos han provocado la aparición de numerosas inestabilidades en el pavimento que dificultan el paso a los usuarios, incluso teniendo que reducir la velocidad máxima permitida en 20 km/h.

Otro de los factores que se ha considerado como condicionante a la hora de realizar el análisis de alternativas ha sido la elevada proximidad de la zona de estudio con el casco urbano de Catral, y con ello de centros educativos como son el Colegio Público Azorín y la Escuela de Música Constanza, además de la existencia de numerosas viviendas a las afueras del municipio, que en el caso de que se optara por dejar fuera de servicio la estructura actual construyendo una nueva que cumpliera con toda la normativa, tanto estructural y geotécnica como de trazado y firmes, éstas viviendas se verían altamente afectadas desde un punto de vista negativo, una de las razones por las que se descarta esta opción (como se estudia en el anejo correspondiente).

## 6. ESTUDIO DE SOLUCIONES

### 6.1. DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL TRAZADO

Se nos plantean dos alternativas a nivel de trazado. Estas dos alternativas se basan en el criterio de que el puente de nuestro tramo no va a sufrir ninguna modificación a nivel estructural, por lo que su estructura se va a encontrar exactamente al mismo nivel del que se encuentra actualmente con los asentamientos.

Por ello, las dos soluciones propuestas son:

- Alternativa 1: Mejora del perfil longitudinal actual.
- Alternativa 2: Elaboración de un nuevo trazado.

#### Alternativa 1

Esta alternativa tiene además otro condicionante, en un futuro los asentamientos que han sufrido los estribos deberán pararse, ya que, si ponemos solución al perfil del trazado, pero no paralizamos los asentamientos, con el paso del tiempo volveríamos a tener el mismo problema en el mismo lugar.

La modificación del perfil longitudinal la conseguimos mediante la restitución del firme de la carretera. Estudiando con detalle la normativa de firmes, se ha jugado con los espesores de la sección del firme para conseguir las cotas de rasante que nos interesan. Y gracias a esto conseguimos levantar un poco la rasante del puente y rebajar la de los terraplenes contiguos.

#### Alternativa 2

La alternativa número 1 consigue arreglar el problema de la rasante en la zona del puente, pero vamos a seguir teniendo los problemas de visibilidad actuales. Por esto se plantea la elaboración de un nuevo trazado.

Este nuevo trazado se basa en el desvío de la circulación hacia la estructura Este y la que crearíamos nueva al lado derecho de esta. La circulación que viene por el carril oeste, sentido Cartagena, mediante un desvío en el trazado pasaría a circular por la calzada este, sentido Alicante actualmente, durante el paso por el puente del P.K 733, volviendo antes del fin de este punto kilométrico a su calzada original. Por otra parte, la circulación que viene del sur en sentido Alicante, sufriría el mismo desvío, pero hacia una nueva carretera de nuevo trazado.

Así pues, considerando las dos opciones, el nivel de repercusión que tienen, costes y duración de las obras, hemos optado por desarrollar la alternativa 1.

### 6.2. DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOTÉCNICO Y ESTRUCTURAL.

#### 6.2.1. ALTERNATIVAS

Este apartado queda detallado de forma más específica en el "ANEJO Nº 10: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS".

Para su desarrollo se ha tenido en cuenta la información así como los parámetros obtenidos del estudio geotécnico del proyecto original modificado, a pesar de que data de entre los años 1998 y 2000. Esta información se ha estudiado y resumido en el "ANEJO Nº 6: ESTUDIO GEOTÉCNICO".

Como conclusión de ello, antes de comenzar con el estudio de soluciones desde el punto de vista geotécnico y estructural, gracias a la instalación de la tubería inclinométrica en el terreno, el sondeo (S-2) realizado, y los resultados de los ensayos CPTU, se ha obtenido un perfil geológico del terreno existente en la zona de estudio, el cual se presenta al final del "ANEJO Nº 6: ESTUDIO GEOTÉCNICO". Las diferentes alternativas que se han considerado desde el punto de vista geotécnico y estructural junto con sus correspondientes ventajas e inconvenientes se presentan en la siguiente tabla de forma resumida para que se pueda hacer una comparación y valoración rápida y aproximada de todas ellas.

ALTERNATIVA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
1.LEVANTAMIENTO DEL TABLERO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solución de mayor garantía</li> <li>- Plazo de ejecución medio</li> <li>- Bajo impacto medioambiental en el futuro</li> <li>- Buena viabilidad para futuras actuaciones en la carretera como podría ser ampliación de un tercer carril.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coste económico muy elevado → inversión excesiva</li> <li>- Desvío total del tráfico</li> <li>- Falta de información</li> <li>- Se desconoce si los movimientos futuros del puente son limitados</li> <li>- Proceso constructivo dificultoso</li> <li>- Probable falta de espacio para gatos</li> </ul>
2. RECALCE MEDIANTE PILOTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se solucionaría el problema de los asientos en los estribos de forma parcial</li> <li>- Buena solución para la distribución de las cargas en el subsuelo ya que pueden trabajar individualmente o en grupos de pilotes</li> <li>- Conveniente debido a que las condiciones del suelo no son favorables para utilización de otro tipo de cimentaciones (cimentaciones superficiales)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si son por punta, se producen grandes vibraciones al introducirlos en el terreno</li> <li>- Si son por fuste, al tener terreno blando, se producirían unos efectos parásitos y daría lugar a nuevos asentamientos</li> <li>- Mano de obra especializada</li> <li>- Desvío del tráfico durante las obras</li> <li>- Dificultad en encontrar terreno resistente</li> <li>- Dificultad a la hora de aumentar o reducir su longitud en el caso de que ésta no sea bien estimada.</li> <li>- Dificultad para saber a simple vista cuándo un pilote ha fallado. Ya que para que un pilote falle no es necesario que desaparezca en profundidad ni que tampoco se rompa o se doble.</li> <li>- No es posible su reutilización. Si un pilote se coloca en un lugar equivocado, no es posible extraerlo para colocarlo bien.</li> <li>- Fuerte deterioro del hormigón de los estribos y del pavimento debido a sus grandes dimensiones.</li> <li>- Elevado impacto medioambiental debido al fuerte ruido que se generaría durante las obras.</li> </ul>
3.MICROPILOTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buena solución para recalce de cimentaciones</li> <li>- Coste no muy elevado</li> <li>- Frente a los pilotes convencionales: menor deterioro del hormigón y menores volúmenes de hormigón a utilizar</li> <li>- Proceso constructivo sencillo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deterioro del hormigón de los estribos y pavimento.</li> <li>- Desvío del tráfico.</li> <li>- Elevado impacto medioambiental debido al fuerte ruido durante las obras.</li> <li>- Solucionaría de forma parcial el problema</li> <li>- Pueden aparecer empujes del terreno existente sobre éstos</li> <li>- Mano de obra especializada</li> </ul>
4. TRATAMIENTO DE MEJORA DEL TERRENO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solución buena en nuestro caso → suelos blandos</li> <li>- Poca posibilidad de que aparezcan futuros asentamientos →</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desvío del tráfico, pero no de forma completa</li> <li>- Requiere un importante control de ejecución</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Método de temporalidad permanente</li> <li>- Coste normalmente no muy elevado</li> <li>- No supone el deterioro de los elementos estructurales de la obra</li> <li>- Proceso constructivo muy sencillo</li> <li>- Localización precisa y controlada.</li> </ul>	
--	--	--

Tabla 5. Resumen alternativas propuestas desde el punto de vista geotécnico y estructural. Fuente: propia.

Para seleccionar la solución óptima se ha realizado un análisis multicriterio en el que se han valorado las diferentes alternativas desde varios puntos de vista, y éstos son:

- Criterio económico → 25%
- Criterio de proceso constructivo → 5%
- Criterio de tráfico → 20%
- Criterio medioambiental → 10%
- Criterio de conservación y mantenimiento → 5%
- Criterio de plazo de ejecución → 5%
- Criterio de funcionalidad → 30%

Luego, dentro de cada criterio se ha hecho una valoración de cada alternativa dando una puntuación de 0, 30, 60 ó 100 puntos, siendo 0 la opción más desfavorable y 100 la más favorable.

Como ya se ha comentado, el resultado detallado de este análisis multicriterio queda reflejado en el ANEJO Nº 10 de este trabajo.

## 7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Cabe destacar que la solución a la que se ha llegado forma parte del conjunto de necesidades estudiadas por las diversas especialidades que componen el proyecto total. De esta manera e interaccionando con los resultados de ambos análisis que se realizan, se ha podido llegar a una solución de compromiso entre la estructura y la orografía del entorno que mejora los problemas planteados y cumple con las especificaciones técnicas, medioambientales y económicas que vienen marcadas por la normativas a su efecto.

### 7.1. FIRMES

La zona de rehabilitación del firme será de un total de 160 metros. Y esta la vamos a dividir en zonas diferenciadas para poder explicar con mayor detalle las características que tendrán cada una. Concretamente la vamos a separar en tres zonas: tablero central, tablero exterior y zona de terraplén.

### 7.1.1. CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO

A partir de los datos de tráfico y de acuerdo a lo establecido en la Norma 6.1-IC Secciones de firme, se estima que la categoría de tráfico pesado será T1.

### 7.1.2. ZONA DE TERRAPLÉN

En esta zona de rehabilitación vamos a jugar con el nivel del terraplén, rebajándolo hasta la altura especificada en el ANEJO N° 7: FIRMES Y PAVIMENTOS, a partir del cual colocaremos el siguiente firme:

Sección firme	Espesor	Capa	Material
121	6 cm	Rodadura	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC22 surf S
		Riego de adherencia	Emulsión bituminosa tipo C60BP3 TER
121	9 cm	Intermedia	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC22 bin S
		Riego de adherencia	Emulsión bituminosa tipo C60BP3 TER
121	15 cm	Base	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC32 base G
		Riego de imprimación	Emulsión bituminosa tipo C60BF4 IMP
	25 cm	Base granular	Zahorra artificial
	100 cm	Explanada	Suelo seleccionado
		Suelo subyacente	Suelo seleccionado

Tabla 2. Sección definitiva del firme.

Para la fabricación de la mezcla se usará betún de tipo 35/50 en todos los casos.

Espesor	Capa	Material
6 cm	Rodadura	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC22 surf S
	Riego de adherencia	Emulsión bituminosa tipo C60BP3 TER
9 cm	Intermedia	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC22 bin S
	Riego de adherencia	Emulsión bituminosa tipo C60BF4 IMP
15 cm	Bajo el pavimento	Zahorra artificial drenante
25 cm	Base granular	Zahorra artificial
100 cm	Explanada	Suelo seleccionado
	Suelo subyacente	Suelo seleccionado

Tabla 3. Sección definitiva del arcén.

### 7.1.3. TABLERO EXTERIOR

En este tramo, para conseguir nuestro propósito, vamos a tener que ir variando los espesores de la sección del firme conforme avanzamos hacia el interior del puente. Esta variación va desde los 20 cm, en la zona del estribo, hasta los 5 cm en la zona de la pila del puente.

La sección de firme va a ser exactamente la misma que en la zona de terraplén, estando constituida únicamente por las capas de rodadura y la intermedia. Aumentaremos el mismo nivel de espesor para ambas capas:

1º Capa → AC22 bin G.

2º Capa → AC22 surf S.

Para entender mejor la variación de la sección del firme, tendremos que ir a los planos que se adjuntan, donde queda todo especificado y aclarado.

### 7.1.4. TABLERO CENTRAL

Dispondremos un espesor de 5 cm en toda esta zona, y la sección del firme va a ser constante en toda su longitud. Se va a disponer las mismas capas de firme que había anteriormente:

1º Capa → 0,25 cm de AC22 bin G.

2º Capa → 0,25 cm de AC22 surf S.

Todos los criterios seguidos y cálculos realizados para elaborar estas secciones de firme los tenemos justificados en el ANEJO N° 7: FIRMES Y PAVIMENTOS.

## 7.2. TRAZADO

La alternativa 1 no necesita de variación del trazado en planta, cosa que facilita mucho la actuación y la variación que se va a hacer en el trazado en alzado no supone una gran reforma.

Gracias a la modificación del firme, hemos conseguido dos objetivos:

- 1) Arreglar el bache ocasionado por los asientos
- 2) Alcanzar la cota necesaria para la colocación del firme

La reforma consiste en fresar la superficie de nuestra carretera en un total de 164 metros longitudinalmente, de los cuales 64 metros pertenecen a lo que mide de largo el puente, y los otros 100 metros son, 50 metros de terraplén contiguo al inicio de este, y 50 metros al otro lado del puente igual. La cota que debemos alcanzar de fresado es distinta según en qué zona estemos, zona de terraplén o zona del puente. En la zona de terraplén vamos a fresar el talud existente hasta llegar a la cota que se especifica en el ANEJO N° 8: TRAZADO, y en la zona del puente simplemente se va a fresar el firme que existe en la actualidad.

Una vez realizada esta tarea, al colocar el firme que se ha especificado antes, conseguiremos rebajar el firme antes del estribo un total de 26 cm y subir la zona del puente en el estribo un total de 8 cm, por lo que la suma de los dos compensa los 43 cm de asiento que teníamos.

La zona central del puente también se ha rebajado para disminuir la pendiente entre vanos y suavizar el acuerdo vertical.

### 7.3. GEOTÉCNIA

Desde el punto de vista geotécnico y estructural la alternativa que se ha considerado de mayor eficacia al problema planteado es la que se plantea en el apartado anterior como “Alternativa nº 4”. Se opta por llevar a cabo un tratamiento de mejora del terreno en los estribos de la estructura con el fin de mejorar los asentamientos que se han producido.

Tras realizarse los estudios correspondientes y gracias a la información original disponible sobre el terreno existente en la zona, como se puede observar en el “ANEJO Nº 10: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS”, se llega a la conclusión que la mejor opción sería ejecutar inyecciones de compactación con las siguientes características principales.

<b>CUADRO RESUMEN</b>	
<i>Tipo de inyección</i>	Compactación o desplazamiento
<i>Tipo de lechada</i>	Arena-cemento
<i>Aditivo</i>	0,5% a 3% de silicato sódico
<i>A/C</i>	< 0,5
<i>Tipo de cemento</i>	CEM I
<i>Agua</i>	pH < 7
<i>Viscosidad</i>	800 m·mPa
<i>Tiempo de fraguado</i>	2 a 4 horas
<i>Presión de inyección</i>	350 kPa a 1,7 Mpa
<i>Localización</i>	estribos
<i>Inicio</i>	a 2 m. de la superficie
<i>Radio efectivo</i>	< 5 m.

Tabla 4. Cuadro resumen de las principales características de las inyecciones. Fuente: propia.

### 7.4. DRENAJE

La propuesta para la mejora de los sistemas actuales de drenaje longitudinal son el recubrimiento de todos estos con hormigón, de forma que el agua no pueda erosionarlos.

En el puente, ya que vamos a rehacer el firme existente, se va a provechar para cambiar los pretilos, colocando unos con imbornales de desagüe por vertido libre en canaletas que se dispondrán longitudinalmente a lo largo de la estructura hasta llegar a los estribos donde estas desaguarán a la red de drenaje de la plataforma y márgenes de los estribos.

En los estribos, se van a disponer bajantes para conducir a pie del estribo los caudales que llegan a ellos de las cunetas del drenaje longitudinal. Las cunetas de exterior y mediana desembocarán en la bajante de estribo. Finalmente, toda la superficie de terreno del estribo que hay comprendida entre sus bajantes irá revestida con encachado.

Finalmente, como principal solución para los problemas de acumulación de agua a pie del estribo, se ha diseñado una cuneta de carretera. Esta además de recoger el agua que viene del drenaje longitudinal de la carretera, deberá absorber la escorrentía provocada por la cuenca secundaria estudiada con un valor de caudal de 0,478 m<sup>3</sup>/s. llevando esta agua a la acequia ya existente en el este de nuestra estructura.

Las dimensiones de esta cuneta una vez realizado los cálculos pertinentes nos da las siguientes dimensiones:

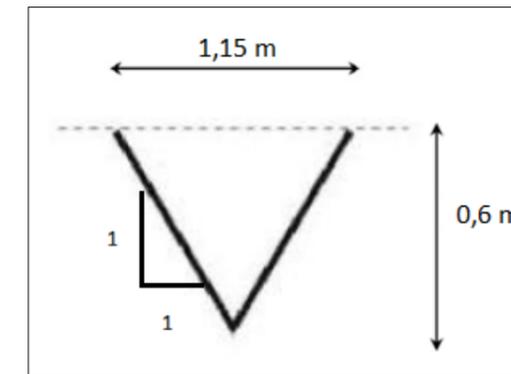


Figura 9. Dimensiones de la cuneta.

Todo esto queda desarrollado con mayor detalle en el ANEJO Nº 9: DRENAJE.

## 8. DESVÍO DE TRÁFICO DURANTE LAS OBRAS

En nuestro estudio de soluciones, se ha optado por elegir como la solución la rehabilitación del firme actual de la AP-7 en el P.K. 733, por lo que esto va a ocasionar una serie de obra fija en dicha zona. Debido a que se va a interferir el normal desarrollo de la circulación, se van a ocasionar una serie de peligros para esta que debemos solucionar mediante la debida señalización de las obras. Para ello vamos a tener que:

- Informar al usuario de la presencia de obras
- Ordenar la circulación en la zona
- Modificar el comportamiento de la zona, adaptándolo a la situación no habitual representado por las obras.

Gracias a todo esto vamos a conseguir una mayor seguridad, tanto para los usuarios como para los trabajadores de la obra.

Debido a que nos encontramos en una vía de doble calzada con mediana con dos carriles por sentido y una situación del obstáculo en una de las calzadas, se requiere el corte total de la calzada afectada por las obras y la transferencia del tráfico a la calzada opuesta (sentido Alicante de la AP-7). Esta calzada se ordenará de forma que funcione como una vía de doble sentido, con un carril para cada uno de ellos. En ambas calzadas se cerrará la circulación de los carriles interiores, concentrándola toda en los exteriores. Para el sentido afectado por las obras se desviará luego la circulación mediante un “transfer” en la mediana o separador, a un carril provisional coincidente, en la zona de obras, con el carril interior de la calzada opuesta. Este finalmente volverá luego a su calzada ordinaria a través de otro “transfer”, una vez rebasada la zona de obras.

La velocidad se va a limitar a 60 Km/h en la zona de obras, y tanto para llegar a esta velocidad, como para señalar toda la zona de obras se van a disponer señales verticales luminosas, y balizamiento. Todas las señales pertinentes y donde deben estar colocadas lo podemos encontrar con detalle en el

## ANEJO Nº 12 SOLUCIONES PROPUESTAS AL TRÁFICO DURANTE LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

Finalmente, tal y como podemos observar en la siguiente imagen, esta sería la situación que tendríamos en nuestro caso particular, observa la línea que deberán seguir los coches que circulen por la calzada con sentido a Cartagena.



Figura 10. Desvío de tráfico

## 9. CONCLUSIONES

Mediante el presente documento, “ESTUDIO DE LOS ASIENTOS DE LA PLATAFORMA DE LA AP-7 EN EL ENTORNO DE LA ESTRUCTURA DE LA CALZADA SENTIDO CARTAGENA DEL PK 733+000. CATRAL (ALICANTE).”, se proponen las soluciones a adoptar para mejorar el servicio que presta la actual vía.

La solución adoptada se adapta a la normativa actual, mejora el confort de los usuarios y, teniendo en cuenta los condicionantes los condicionantes y el entorno existente, proporciona condiciones óptimas de seguridad en los desplazamientos por la vía.

Valencia, septiembre de 2017.

Fdo. Eva Gil Garcerá

Fdo. Belén Sirvent Mira