



ANEJO Nº 6: DISEÑO DEL FIRME

AUTOR: M^a PAZ PÉREZ CARRIÓN
TUTOR: FRANCISCO JAVIER CAMACHO TORREGROSA



Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
2.	DIMENSIONAMIENTO DE LA EXPLANADA	5
2.1.	CATEGORÍA DE LA EXPLANADA.....	5
2.2.	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	5
3.	DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME.....	6
4.	ELECCIÓN DE LA MEZCLA BITUMINOSA.....	7
5.	RIEGOS	7
5.1.	RIEGOS DE IMPRIMACIÓN	7
5.2.	RIEGOS DE ADHERENCIA.....	7
6.	SOLUCIÓN PROPUESTA.....	7
7.	APROVECHAMIENTO DEL FIRME EXISTENTE	8

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anejo es caracterizar el paquete de firmes que se dispondrá en la traza de la carretera CV-941 cuando se lleven a cabo las obras de acondicionamiento de la misma. Para ello se definen, estudian y analizan las distintas alternativas capaces de satisfacer desde un punto de vista técnico y económico la solución final.

El dimensionamiento del firme se realizará según lo dispuesto en la normativa de carreteras Norma 6.1-IC. Secciones de firme y se tendrán en cuenta factores como la categoría del tráfico o el tipo de explanada.

2. DIMENSIONAMIENTO DE LA EXPLANADA

La explanada es la parte de la superestructura de la carretera que actúa como superficie de cimiento del firme. Por lo tanto, el dimensionamiento de la misma ha de garantizar la regularidad superficial, la evacuación de pluviales y una capacidad de soporte adecuada tanto en fase de obra como en la puesta en servicio

2.1. CATEGORÍA DE LA EXPLANADA

La Norma 6.1-IC establece tres categorías de explanadas, denominadas E1, E2 y E3, las cuales se determinan en función del módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (Ev2), obtenido de acuerdo con la NLT-357 "Ensayo de carga con placa".

Tabla 1: Categoría de explanada

Categoría Explanada	E1	E2	E3
Ev2 (MPa)	≥60	≥120	≥300

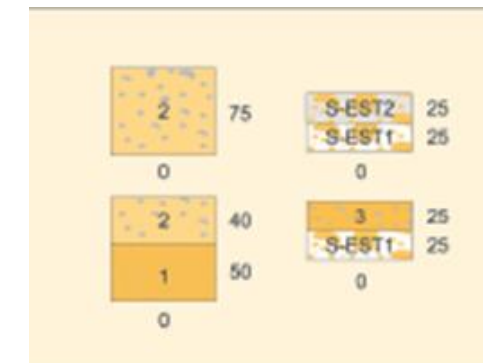
Fuente: Instrucción de Carreteras. Artículo 6.1

A partir de los datos procedentes del estudio geológico recogidos en el Anejo 2: Geología y geotecnia, se estima que la explanada que actuará como cimiento del firme será de categoría E2.

2.2. ANALISIS DE ALTERNATIVAS

Del Anejo 2: Geología y geotecnia se extrae que de acuerdo a lo establecido en el Pliego de Carreteras PG-3, el suelo de la traza se clasifica como tolerable. Por lo tanto, existen 4 posibilidades que, con dicho suelo, permiten la formación de una explanada de categoría E2.

Ilustración 1: Sección de explanada



Fuente: Norma 6.1.-IC

- **Opción 1:** 75 cm de suelo seleccionado sobre suelo tolerable de base.
- **Opción 2:** 25cm de suelo estabilizado in situ tipo 2 (con cal o cemento) y 25cm de suelo estabilizado in situ tipo 1 (con cal o cemento) sobre suelo tolerable de base.
- **Opción 3:** 40cm de suelo seleccionado y 50cm de suelo adecuado sobre suelo tolerable de base.
- **Opción 4:** 25cm de suelo seleccionado y 25cm de suelo estabilizado in situ de tipo 1 (con cal o cemento) sobre suelo tolerable de base.

Por lo tanto, en tres de las posibles soluciones es necesario el aporte de material procedente de préstamo, el cual debe ser de tipo seleccionado y/o adecuado. Además, dos de las alternativas han de formarse mediante suelo estabilizado, ya sea con cal o cemento. Para ello es necesario comprobar si la estabilización es compatible con los materiales existentes en la traza.

El Pliego de Carreteras PG-3 establece en el artículo 512 las condiciones que debe presentar un suelo para ser estabilizado sin riesgo de presentar ninguna alteración.

Ilustración 2: Características de un suelo estabilizado

TABLA 512.1.1- GRANULOMETRÍA DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CAL

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	CERNIDO ACUMULADO (% en masa)	
	ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)	
	80	0,063
S-EST1 y S-EST2	100	≥ 15

TABLA 512.1.2- GRANULOMETRÍA DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CEMENTO

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	CERNIDO ACUMULADO (% en masa)		
	ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)		
	80	2	0,063
S-EST1 y S-EST2	100	> 20	< 50
S-EST3			< 35

TABLA 512.2- COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUELO

CARACTERÍSTICA	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
		S-EST1	S-EST2	S-EST3
MATERIA ORGÁNICA (MO) (% en masa)	UNE 103204	< 2	< 1	
SULTAFOS SOLUBLES (SO ₂) (% en masa)	UNE 103201	< 1		

Fuente: PG-3

Teniendo en cuenta lo establecido en el Anejo 2: Geología y geotecnia, parte del material de la zona de estudio no podría estabilizarse con cemento por no cumplir el contenido máximo de sulfatos permitido. De esta forma las opciones 3 y 4 no serían posibles de realizar.

Sin embargo, el PG-3 establece en el artículo 512.3.3.3 Análisis de aptitud de suelos con sulfatos que es posible realizar un estudio específico de aptitud de uso que determine los siguientes criterios:

- El valor de la expansión volumétrica del suelo estabilizado, después de siete días (7 d) de inmersión en agua (norma UNE-EN 13286-49) deberá ser inferior al cinco por ciento ($G_v < 5\%$).
- La resistencia a tracción indirecta (norma UNE-EN 13286-42) sea mayor o igual a dos décimas de megapascal ($\geq 0,2$ MPa). Este valor de resistencia se deberá determinar sobre una muestra de tres probetas idénticas a las indicadas para el ensayo de hinchamiento acelerado y sometidas a las mismas condiciones de conservación e inmersión en agua a cuarenta grados Celsius (40 °C) durante siete días (7d), con la única diferencia de que esta inmersión se hará con las probetas dentro de sus moldes.

El estudio específico correspondiente al suelo existente en la traza no se ha realizado debido a que el estudio actual se trata de un trabajo académico. En caso de mostrar este un resultado favorable, se considerarían las cuatro variables descritas previamente.

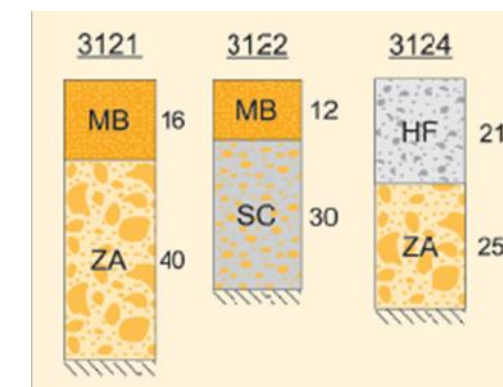
3. DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME

El paquete de firmes está compuesto por las capas más superficiales de materiales y ha de dimensionarse con el objetivo de garantizar una superficie de rodadura segura, cómoda y que presente unas características permanentes durante su vida útil. Además, esta capa servirá como resistencia y distribuidora de las cargas que transmita el tráfico pesado y, deberá proteger a la explanada de la intemperie.

El tipo de firme que se propone ejecutar es el denominado flexible, constituido a base de mezclas bituminosas en caliente (M.B.C.) asentado sobre capas de zahorras.

A partir de lo descrito en el Anejo 5: Análisis del tráfico, la categoría de tráfico pesado es T31 y la explanada, según lo dispuesto en el apartado 2 de este documento, es de categoría E2. Por lo tanto, según lo establecido en la Norma 6.1-IC, los posibles paquetes de firmes a disponer son:

Ilustración 3: Sección de firme



Fuente: Norma 6.1-IC

- **Opción 3121:** 16cm de mezcla bituminosa sobre 40 cm de zahorras
- **Opción 3122:** 12cm de mezcla bituminosa sobre 30cm de suelo cemento
- **Opción 3124:** 21cm de hormigón de firme sobre 25cm de zahorras

Teniendo en cuenta que el uso de hormigón de firmes está prácticamente en desuso, y además, las funciones estructurales y portantes de los firmes con mezcla bituminosa son de mejores, el paquete de firme 3124 queda descartado como alternativa.

Por otro lado, la utilización de suelo cemento resulta excesivamente cara, por lo que resulta recomendable evitar esta opción siempre que las condiciones lo permitan. Por tanto, la sección de firme definitiva estará compuesta por 40cm de zahorras y 16cm de mezcla bituminosa (opción 3121).

4. ELECCIÓN DE LA MEZCLA BITUMINOSA

Para la elección del tipo de ligante bituminoso es necesario tener en cuenta la zona térmica estival en la que se encuentran las obras. En este caso, el tramo de carretera discurre entre las poblaciones de San Miguel de Salinas y Dehesa de Campoamor, en la provincia de Alicante. Por tanto, tras la consulta del mapa en el que se determinan las zonas térmicas estivales en el Artículo 6.2.1. de la Norma 6.1-IC, se define la zona de construcción de las obras como cálida.

Ligante hidrocarbonado:

- Capa de rodadura y siguiente: Para T31 y zona térmica estival cálida se pueden utilizar: 35/50, 50/70, BC35/50, BC50/70 y PMB 45/80-60.
 - Capa de base: Para T31 y zona térmica estival cálida se pueden utilizar: 50/70 y BC50/70.
- El espesor de las capas vendrá determinados por los valores dados en la tabla 6 del Artículo 6.2.1.1. de la Norma 6.1-IC.

Ilustración 4: Distribución de las capas del firme en función del tráfico

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA (*)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
		T00 a T1	T2 y T31	T32 y T4 (T41 y T42)
Rodadura	PA	4		
	M	3	2-3	
	F			
	D y S		6-5	5
Intermedia	D y S	5-10 ^(**)		
Base	S y G	7-15		
	MAM	7-13		

Fuente: PG-3

La capa superficial del paquete de firmes estará compuesta por:

- 4cm de capa de rodadura
- 6cm de capa intermedia
- 6cm de capa base

5. RIEGOS

Los riegos en carreteras consisten en aplicar una emulsión bituminosa sobre una capa de firme para conseguir garantizar la adherencia entre capas y el correcto curado de capas de firme tratadas con cemento.

5.1. RIEGOS DE IMPRIMACIÓN

Según lo establecido en el Pliego de Carreteras PG-3, consiste en la aplicación de un ligante fluido sobre una superficie no tratada, que puede ser una capa granular o la explanada.

Su función consiste en preparar la superficie y garantizar la adherencia entre una emulsión bituminosa y una capa granular.

Como riego de imprimación en este caso podrán usarse dos tipos de emulsiones bituminosas, C50BF4 IMP o C60BF4 IMP, descritas ambas en el artículo 214 del Pliego de Carreteras PG-3. La emulsión utilizada será C60BF4 IMP.

5.2. RIEGOS DE ADHERENCIA

Un riego de adherencia se define como la aplicación de una emulsión bituminosa sobre una capa tratada con ligantes hidrocarbonados o conglomerantes hidráulicos previa a la colocación sobre ésta de una capa bituminosa.

Teniendo en cuenta la categoría del tráfico pesado (T31), se utilizará una emulsión bituminosa catiónica convencional, concretamente la denominada C60B3 ADH.

6. SOLUCIÓN PROPUESTA

Debido a los condicionantes relativos al tráfico descritos anteriormente, teniendo en cuenta el tipo de obra de la que se trata y ante la ausencia de estudios que aseguren si el suelo de la traza puede tratarse con un conglomerante hidráulico, la explanada será E2 y estará constituida por 75 centímetros de suelo seleccionado que procederá de préstamo, colocado sobre el suelo tolerable de la propia traza.

El firme previsto para la calzada será el correspondiente a la sección 3121, con 16 centímetros de MBC y 40 centímetros de zahorras artificiales.



Figura 1: Sección definitiva del firme

	Espesor	Capa	Material
Sección Firme	4 cm	Rodadura	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC22 surf S
		Riego de adherencia	Emulsión bituminosa tipo C60B3 ADH
3121	6 cm	Intermedia	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC32 bin S
		Riego de adherencia	Emulsión bituminosa tipo C60B3 ADH
	6 cm	Base bituminosa	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC32 base G
		Riego de imprimación	Emulsión bituminosa tipo C60BF4 IMP
	40 cm	Base granular	Zahorra artificial tipo ZA25 (extendida en 2 capas)
	75 cm	Explanada	Suelo seleccionado (Art 330 PG-3)
		Suelo subyacente	Suelo tolerable

Fuente: Elaboración propia

Para la fabricación de la mezcla se empleará en todos los casos un betún tipo B60/70.

7. APROVECHAMIENTO DEL FIRME EXISTENTE

Como se puede comprobar en el Anejo 7: Estudio de alternativas, el trazado definitivo de la carretera aprovecha las infraestructuras existentes en el actual trazado de la vía. Por tanto, existen zonas en las que el trazado de la carretera discurre por el mismo lugar que la carretera existente. Esto da lugar a la posibilidad de aprovechar el firme existente en la vía.

Como se puede observar en el Anejo Fotográfico, el firme de la carretera existente presenta un buen estado de conservación, por lo que, tras la comprobación de la resistencia del mismo, sería posible aprovechar su existencia en la ejecución del nuevo trazado de la carretera.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que se ha estimado un crecimiento del tráfico en la CV-941 del XXX %. Es necesario comprobar que la sección de firme existente sería capaz de soportar las cargas y deformaciones derivadas de dicho aumento del tráfico. Si así fuese sería posible ejecutar el nuevo trazado de la carretera aprovechando el material del firme existente en la actualidad, siempre teniendo en cuenta que sería necesario aplicar una capa de rodadura de un espesor mínimo que permita mantener la continuidad de la sección de firme del trazado.

Sin embargo, puesto que pese a que en planta la alineación coincide con el trazado existente, en alzado el trazado de la solución definitiva no se ajusta con exactitud al actual. Por ello, la solución definitiva en este caso sería la de aplicar un riego de adherencia sobre la sección de firme de la carretera actual en aquellos puntos en los que el trazado de la misma coincidiera con el de la alineación definitiva.

Además, sobre este riego de adherencia sería necesario aplicar una capa de rodadura del mismo espesor que en el resto de la sección, es decir, de 4 centímetros de grosor.

Cabe destacar que para aprovechar al máximo el firme existente que se encuentre en buen estado es necesario efectuar el fresado de la capa superior del firme existente. De esta manera, se eliminan las impurezas e imperfecciones presentes en la actualidad. Además, se mejora la adherencia del riego y el material bituminoso que se colocará para conformar el firme de nueva vía. Por otra parte, el fresado de la capa de rodadura existente y la posterior colocación de una capa de rodadura de cuatro centímetros de espesor permite mantener el gálibo de la carretera, es decir, que la cota de elevación de la carretera actual será la misma que la de la existente. De forma esta forma es posible aprovechar tanto el firme existente, como las barreras de seguridad y la altura de la señalización vertical.