

ANEJO 6. DISEÑO DEL FIRME



ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LA CV-345 A SU PASO POR LOS
MUNICIPIOS DE HIGUERUELAS Y LA YESA (VALENCIA)

ÍNDICE:

1. Objeto.....	4
2. Dimensionamiento de la explanada.....	4
3. Dimensionamiento del firme.....	7
4. Mezcla bituminosa.....	9
5. Justificación de los riegos.....	11
5.1. Riegos de imprimación.....	11
5.2. Riegos de adherencia.....	11
6. Diseño final del firme.....	12

1. OBJETO

En el presente documento se pretende analizar, determinar y justificar la tipología de firme más apropiada para llevar a cabo las obras de la infraestructura objeto del estudio, CV-345, a su paso por los municipios de Higuieruelas y La Yesa. Desde un punto de vista técnico, económico y tratando de generar el menor impacto ambiental y visual, se estudiarán las distintas alternativas para el paquete de firme de las obras de acondicionamiento y de las variaciones de trazado que se propongan.

El punto de partida del proceso de dimensionamiento del firme consiste en determinar la tipología de explanada que se puede conseguir, en función del terreno disponible en la traza de la carretera. Una vez determinada la explanada se procederá al cálculo del paquete de firme, conjunto de capas que conforman la parte superior del conjunto de materiales y deben asegurar una rodadura segura, cómoda y permitir el drenaje de la plataforma. Es por ello, que la norma recomienda el dimensionamiento de firmes flexibles en lugar de los rígidos ya que estos presentan menos problemas de rotura, concretamente de fisuración, y de comodidad para el usuario de la vía. Por último, se determinará la mezcla bituminosa y los riegos aplicables a este con el fin de mejorar sus características.

La normativa en vigor para las operaciones que se van a desarrollar en este apartado es la Norma 6.1-IC "Secciones de Firme", se va a seguir el proceso de diseño del firme del PG-3 (Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes).

2. DIMENSIONAMIENTO DE LA EXPLANADA

La parte de la carretera conocida como explanada es la parte de la superestructura de la carretera sobre la que asienta el paquete de firme, no perteneciente a una estructura, es el cimiento del firme. Esta debe garantizar que se cumplan las condiciones de seguridad estructural en cuanto a capacidad de soporte (evitando la aparición de asientos y generando una superficie regular), una rodadura confortable para los usuarios y las condiciones de evacuación de pluviales exigidas por el PG-3, para el periodo de vida útil del proyecto.

El PG-3 establece tres categorías de explanada según el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (E_{v2}), obtenido de acuerdo con la NLT-357 "Ensayo de carga con placa".

CATEGORIA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
E_{v2} (MPa)	≥ 60	≥ 120	≥ 300

Ilustración 1. Categorías de la explanada en función de E_{v2} (Fuente: Norma 6.1-IC “Secciones de Firme”)

En el anejo 4 “Geología y Geotecnia” quedó explicado que el terreno que conforma la explanada de la carretera objeto del estudio es roca en lugar de suelo, por tanto, no se puede aplicar la clasificación de suelos que ofrece el PG-3 y se puede asumir que por las condiciones de soporte que presenta la roca, la explanada a disponer en toda la traza de la carretera es del tipo E3, es decir, la categoría de explanada de mayor calidad de las que propone la normativa.

Una vez definida la explanada, la normativa establece distintas posibilidades en función del tipo de suelo sobre el que apoya la misma. En el caso de la CV-345, por tratarse de roca y una categoría de explanada del tipo E3, la normativa expone la siguiente solución:

[illegible]

Ilustración 2. Secciones de explanada (Fuente: Norma 6.1.-IC "Secciones de Firme")

Para el caso de la CV-345 la norma 6.1-IC “Secciones de Firme” establece una única posibilidad, al tratarse de un terreno de gran calidad de soporte. Además, solo permite un tipo de explanada, E3, debido a que se tiene mayor calidad para formar alguna de las otras categorías de explanada. Por tanto, la explanada estará formada por una capa de Hormigón en Masa de resistencia a compresión simple igual a 20 MPa (HM-20), de manera que se regularice la superficie y se genere el suficiente apoyo al paquete de firme.

La composición de la mezcla deberá estudiarse previamente, con el fin de asegurar que el hormigón resultante tendrá las características mecánicas y de durabilidad necesarias para satisfacer las exigencias del proyecto. Estos estudios se realizarán teniendo en cuenta las condiciones de construcción previstas.

La tabla anterior de secciones de explanada (ilustración 2) viene acompañada de una tabla que especifica características del material y espesores,

SÍMBOLO	DEFINICIÓN DEL MATERIAL	ARTÍCULO DEL PG-3	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
IN	SUELO INADECUADO O MARGINAL	330	- Su empleo sólo será posible si se estabiliza con cal o con cemento para conseguir S-EST1 o S-EST2.
0	SUELO TOLERABLE	330	- CBR ≥ 3 (*). - En capas para formación de explanada: - Contenido en materia orgánica $< 1\%$. - Contenido en sulfatos solubles (SO_3) $< 1\%$. - Hinchamiento libre $< 1\%$.
1	SUELO ADECUADO	330	- CBR ≥ 5 (*).
2	SUELO SELECCIONADO	330	- CBR ≥ 10 (*).
3	SUELO SELECCIONADO	330	- CBR ≥ 20
S-EST1 S-EST2 S-EST3	SUELO ESTABILIZADO IN SITU CON CEMENTO O CON CAL	512	- Espesor mínimo: 25 cm. - Espesor máximo: 30 cm.
HM-20	HORMIGÓN DE RELLENO	610	- Espesor mínimo: 15 cm.

Ilustración 3. Características de los materiales para explanada (Fuente: Norma 6.1. IC "Secciones de Firme")

Para el caso en estudio, la tabla precedente establece que la capa de hormigón en masa (hormigón de relleno) que se debe disponer es de al menos 15 cm, además incluye el artículo del PG-3 donde se establecen las características y condiciones que deben cumplir tanto los materiales como el hormigón acabado, ya sea de su fabricación, transporte, vertido y curado.

En resumen, la explanada ha sido categorizada como E3 debido a la existencia de terreno clasificado como roca a lo largo de la traza de la carretera objeto del estudio. De la ilustración 2, contenida en la norma 6.1.-IC, se dedujo que solo se tenía una posibilidad para llevar a cabo esta capa, colocar hormigón en masa con un espesor mayor de 15cm. Por tanto, no se tiene la necesidad de estabilizar el suelo o llevar a cabo aportes de material de algún préstamo o cantera. Se debe resaltar, que tal y como se justificará en el anejo de "Estudio de Alternativas" es necesario restituir el paquete de firme en determinadas zonas de la traza de carretera, ya que, aunque se mantenga el trazado, el deterior de este lo hace inevitable, por tanto, se sustituirá también la explanada si se justifica que esta podría ser una de las causas del deterioro del firme, ya sea por un mal dimensionamiento o por el deterioro de la misma. Si se puede requerir el aporte de material para rellenos en zonas donde se produzcan cambios de trazado con el fin de llegar a la cota de la explanada, se justificará en el anejo de "Estudio de Alternativas".

3. DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME

La determinación del conjunto de capas que conforman el paquete de firme está condicionada por varios factores, entre otros cabe destacar los más relevantes, categoría de tráfico, explanada, clima, materiales disponibles, aspectos económicos y medio ambientales. El dimensionamiento del firme se va a llevar a cabo con la misma norma que en el caso de la explanada, 6.1.-IC "Secciones de firme".

Como ya ha sido comentado, el firme está formado por un conjunto de capas que apoyan sobre la explanada y que son las más próximas a la superficie, este conjunto de capas debe garantizar unas determinadas condiciones de rodadura y drenaje durante su vida útil. Por otro lado, el firme debe estar proyectado para soportar y transmitir a la explanada y por tanto al terreno las cargas del tráfico pesado, y proteger la explanada de la intemperie.

En el diseño del firme se considerará únicamente el tráfico pesado que queda categorizado según la categoría de tráfico correspondiente a la carretera. El carril de proyecto será aquel que soporte mayores cargas de tráfico, es decir, para el que se prevea un mayor tráfico de proyecto. En carreteras de calzada única, dos carriles y doble sentido de circulación, como en el caso de la CV-345, se puede tomar como carril de proyecto cualquiera de los dos siempre que no exista un desequilibrio manifiesto de las cargas entre ambos sentidos de circulación.

En primer lugar, se va a proceder categorizando el tráfico pesado de la vía, en el anejo 3 "Estudio de tráfico" se determinó llevando a cabo el estudio y justificación de la categoría de tráfico en función de la IMD de pesados para el año de puesta en servicio de la vía. Esta quedó definida como T41.

		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO											
		T31			T32			T41			T42		
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	3111 MB 20 ZA 40	3112 MB 15 SC 30	3114 HF 21 ZA 30	3211 MB 18 ZA 40	3212 MB 12 SC 30	3214 HF 21 ZA 20	4111 MB 10 ¹¹ ZA 40	4112 MB 8 SC 30	4114 HF 20 ZA 20	4211 MB 5 ¹¹ ZA 35	4212 MB 5 SC 25	4214 HF 18 ZA 20
		3121 MB 16 ZA 40	3122 MB 12 SC 30	3124 HF 21 ZA 25	3221 MB 15 ZA 35	3222 MB 10 SC 30	3224 HF 21 ZA 20	4121 MB 10 ¹¹ ZA 30	4122 MB 8 SC 25	4124 HF 20	4221 MB 5 ¹¹ ZA 25	4222 MB 5 SC 22	4224 HF 18
		3131 MB 16 ZA 25	3132 MB 12 SC 22	3134 HF 21 ZA 20	3231 MB 15 ZA 20	3232 MB 10 SC 22	3234 HF 21	4131 MB 10 ¹¹ ZA 20	4132 MB 8 SC 20	4134 HF 20	4231 MB 5 ¹¹ ZA 20	4232 MB 5 SC 20	4234 HF 18
	E3	3131 MB 16 ZA 25	3132 MB 12 SC 22	3134 HF 21 ZA 20	3231 MB 15 ZA 20	3232 MB 10 SC 22	3234 HF 21	4131 MB 10 ¹¹ ZA 20	4132 MB 8 SC 20	4134 HF 20	4231 MB 5 ¹¹ ZA 20	4232 MB 5 SC 20	4234 HF 18

Ilustración 4. Secciones de firme (Fuente: PG-3)

Una vez determinada la categoría de tráfico pesado y la categoría de explanada, entrando en la tabla de la ilustración 4 se pueden extraer las distintas posibilidades que ofrece el PG-3 para llevar a cabo la ejecución del paquete de firme.

En el caso concreto de la vía en estudio se tienen 3 posibilidades,

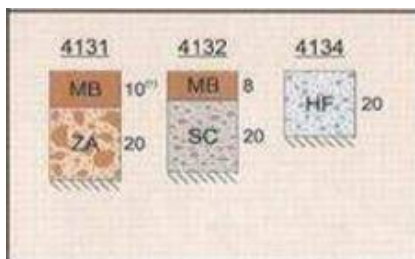


Ilustración 5. Secciones de firme para E3 y T41 (Fuente: PG-3)

- Opción 4131: se compone de una capa de zahorra artificial (ZA) de 20 cm y una capa de mezcla bituminosa (MB) de 10 cm.
- Opción 4132: se compone de una capa de suelo cemento (SC) de 20 cm y una capa de mezcla bituminosa (MB) de 8 cm.
- Opción 4134: se compone de una capa única de hormigón de firme (HF) de 20 cm.

En primer lugar, se debe tener en cuenta que se busca proyectar un firme flexible, para ello, el PG-3 expone que se debe tener un espesor de mezcla bituminosa menor de 15 cm. Por ello, el firme 4134 queda descartado por tratarse de un firme catalogado como rígido debido a la capacidad portante y estructural del mismo, debido a que el uso de hormigón en firmes está prácticamente en desuso.

Por otra parte, se va a decantar por la opción 4131, la compuesta por una capa de zahorra artificial de 20 cm y una capa de mezcla bituminosa de 10 cm, ya que la comarca de Los Serranos está caracterizada por la presencia de canteras y por tanto la obtención y transporte del material (zahorra artificial) resultará más económico que el uso de suelo cemento, este sería rentable si en la zona no se dispusiese de material y por tanto el transporte lo haría más caro que el suelo cemento.

En resumen, el paquete de firme a disponer en la vía objeto del estudio es el compuesto por una capa de 20 cm de zahorra artificial, procedente de alguna de las explotaciones próximas a la traza de la carretera, y una capa de mezcla bituminosa de 10 cm.

4. MEZCLA BITUMINOSA

La mezcla bituminosa o ligante bituminoso es un aglomerado asfáltico compuesto por áridos + filler + ligante.

- Filler = polvo mineral (tamaño < 0.063mm).
- Ligante = pequeña película que proporciona adhesividad.
- Filler + Ligante = forman una masilla (máctic) que aporta cohesión.
- Áridos = son los encargados de añadir la resistencia al conjunto.

Para la elección del tipo de mezcla bituminosa, así como su dosificación en masa y la del polvo mineral, se tendrá en cuenta el mapa nacional incluido en la norma 6.1-IC "Secciones de Firme" donde se representa la zona térmica estival.

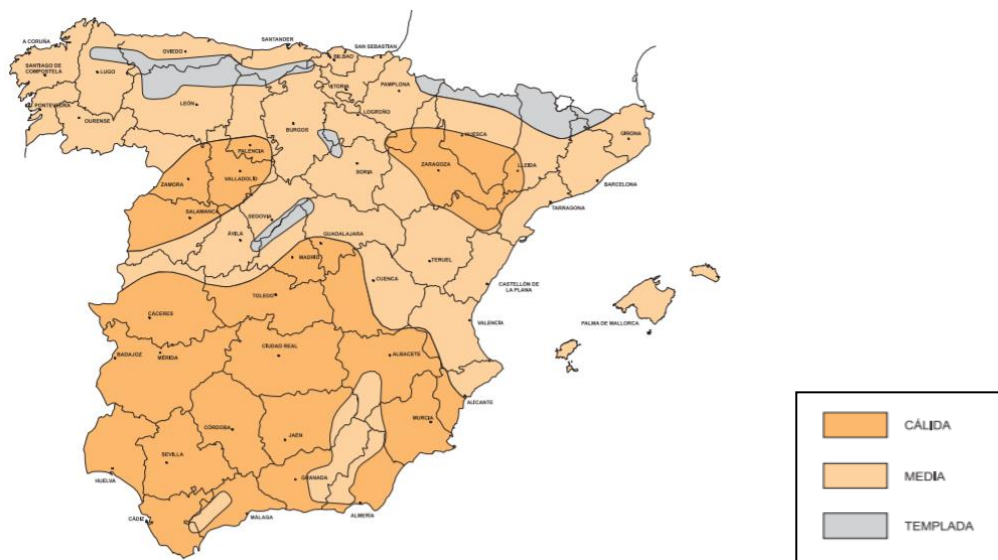


Ilustración 6. Zonas térmicas estacionales (Fuente: Norma 6.1.-IC "Secciones de Firme")

En el caso de la vía en estudio, CV-345, tal y como se ha comentado, se encuentra en la comarca de Los Serranos, Provincia de Valencia, la zona queda determinada como media.

La capa del firme conocida como mezcla bituminosa está formada por tres subcapas, capa rodadura, intermedia y base, ordenadas de más superficial a menos. La normativa que se está empleando en todo este apartado incluye una tabla en la que se indican los espesores que deben tener cada una de estas subcapas.

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LA CV-345 A SU PASO POR LOS
MUNICIPIOS DE HIGUERUELAS Y LA YESA (VALENCIA)

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		

Ilustración 7. Espesores de capas de mezcla bituminosa en caliente (Fuente: Norma 6.1.-IC "Secciones de Firme")

La capa de rodadura estará constituida por una mezcla bituminosa drenante (PA), una mezcla bituminosa discontinua en caliente de tipo M o F, o por una mezcla bituminosa en caliente de tipo denso (D) o semidenso (S). En la norma se indica que las mezclas bituminosas drenantes solo se podrán aplicar en carreteras donde no existan problemas de nieve o hielo, cuyos accesos estén pavimentados, con tráfico suficiente ($IMD > 5000 \text{ v/d}$) y con un régimen de lluvias razonablemente constante que facilite la limpieza, de manera que no se incruste suciedad por los poros drenantes que cuenta esta mezcla bituminosa. En el caso de la vía en estudio no es posible disponer este tipo de firme debido a que en la zona donde está enmarcada la traza de la carretera las nevadas y la formación de hielo es frecuente, además de que no cuenta con una IMD de tal calibre por lo que los poros se obstruirían rápidamente al no tener suficiente paso de vehículos. Además, algunos de los accesos están por pavimentar, y la zona está catalogada como poco lluviosa según la imagen que se adjunta en la normativa, en la cual la provincia de Valencia está enmarcada en una zona 6, es decir, dentro del rango de "Poco lluviosa" con una precipitación media anual menor de 600 mm. Tampoco se podrá disponer una mezcla bituminosa de alto módulo (MAM) en la capa base porque se debe tener un espesor total de mezcla bituminosa de 25 cm como mínimos y se tiene de 10 cm.

Debido a que el espesor total de la mezcla bituminosa es de 10 cm, se van a disponer dos capas en lugar de tres,

- 3 cm de capa de rodadura de una mezcla discontinua en caliente del tipo M o F
- 7 cm de capa base del tipo mezcla bituminosa en caliente S y G.

5. JUSTIFICACIÓN DE LOS RIEGOS

Los riegos son emulsiones bituminosas, a base de betún + agua + emulgente, que se añaden al firme para garantizar la adherencia entre capas y el correcto curado de capas tratadas con cemento.

Existen 3 tipos de riegos para carreteras:

- Riegos de imprimación: emulsión (ligante hidrocarbonado) sobre una superficie no tratada, previa a la colocación sobre esta de una capa bituminosa. Estos riegos se encuentran regulados en el artículo 530 del PG-3.
- Riegos de adherencia: pequeña cantidad de emulsión bituminosa sobre una superficie tratada, bituminosa o conglomerante hidráulico. Estos riegos se encuentran regulados en el artículo 531 del PG-3.
- Riegos de curado: aseguran en mantenimiento de la humedad durante el fraguado y primer endurecimiento de capas tratadas con cemento. Producto igual al riego de adherencia. Estos riegos se encuentran regulados en el artículo 532 del PG-3.

5.1. RIEGOS DE IMPRIMACIÓN

En la vía objeto del estudio, se va a disponer un riego de imprimación con el fin de preparar la superficie y garantizar la adherencia entre la capa de zahorra artificial y la capa base del firme.

En el artículo 213 del PG-3 se incluye una tabla donde se especifica el tipo de emulsión en base a su objetivo o función, en el caso de riego de imprimación presenta dos posibilidades, C60BF5 IMP o C50BF5 IMP. Dado que la vía no dispone de una IMD de pesados elevada valdría con disponer un riego C50BF5 IMP.

5.2. RIEGOS DE ADHERENCIA

En el caso de la CV-345 se va a disponer un riego de adherencia entre las capas base y la de rodadura con el fin de favorecer la adherencia entre estas.

Según el artículo 214 se dispone de dos posibilidades de riegos de adherencia, C60B3 ADH o C60B2 ADH. Debido a que el IMD de pesados que presenta esta vía no es elevado se va a disponer un riego del tipo C60B2 ADH.

6. DISEÑO FINAL DEL FIRME

En la tabla siguiente se lleva a cabo un resumen del proceso de diseño del firme llevado a cabo en el presente anejo.

	CAPA	MATERIAL	ESPESOR
SECCIÓN FIRME	Rodadura	MB en caliente tipo AC 16 surf S	3 cm
	Riego de adherencia	Emulsion bituminosa tipo C60B2 ADH	
	Base	MB en caliente tipo AC 32 base G	7 cm
	Riego de imprimación	Emulsion bituminosa tipo C50BF5 IMP	
	Capa granular	Zahorra artificial en una capa	20 cm
	Explanada	Capa de hormigón en mas de 20 Mpa	15 cm
	Suelo de la traza	Roca	

Ilustración 8. Diseño del firme (Fuente: Elaboración propia)