

ANEJO 6: CÁLCULO DEL FIRME

ANEJO 6: CÁLCULO DEL FIRME

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.- INTRODUCCIÓN.....	5
2.- NORMATIVA EMPLEADA	6
3.- DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME DE LA CARRETERA	6
3.1.- Sección de firme completa	6
3.1.1.- Categoría de tráfico pesado	6
3.1.2.- Formación de explanada	7
3.1.3.- Caracterización climática	9
3.1.4.- Dimensionamiento de la sección.....	10
3.1.5.- Planteamiento de alternativas posibles	10
3.1.6.- Estudio económico de las alternativas	11
3.1.7.- Sección de firme seleccionada	11
3.1.8.- Firme sobre estructuras	11
3.1.9.- Firme en arcenes	11
3.2.- Ampliación de plataforma.....	12
3.3.- Refuerzo de firme	12
3.3.1.- Descripción de la actuación	12
3.3.2.- Inspección visual del estado del firme	13
3.3.3.- Dimensionamiento del refuerzo.....	13
4.- FIRME EN VIALES SECUNDARIOS.....	13
5.- FIRME EN CARRIL CICLOPEATONAL.....	13
6.- FIRME EN CAMINOS.....	13
7.- MATERIALES DEL FIRME.....	13
7.1.- Mezclas bituminosas en caliente.....	13
7.1.1.- Espesores de las capas de mezcla bituminosa	14
7.1.2.- Betún	15
7.1.3.- Áridos	16
7.1.4.- Filler y % de betún.....	17
7.2.- Riego de imprimación.....	18
7.3.- Riego de adherencia	18

7.4.- Riego de curado.....	18
7.5.- Subbases granulares.....	18
8.- CONCLUSIONES.....	18
APÉNDICE: ESTUDIO ECONÓMICO DEL FIRME	21

1.- INTRODUCCIÓN

El presente anejo justifica las secciones de firme a ejecutar en la carretera objeto del presente proyecto.

A partir de la recopilación de datos necesarios y mediante la aplicación de la normativa vigente, se determina la categoría de tráfico y se dimensiona el firme. La obtención de la solución adecuada debe compatibilizar la optimización económica junto a la consideración de aspectos relacionados con la protección ambiental.

Para la obtención en el tramo analizado de un firme con características óptimas y homogéneas desde el punto de vista de la seguridad, la comodidad y la durabilidad, se establecen tres tipos de actuación:

- *Sección de firme completa:* en los tramos de nueva ejecución que no coinciden con la carretera existente, se dispondrá la sección de firme completa.
- *Ampliación de plataforma:* puesto que se aprovecha la plataforma existente y se amplía cuando es necesario, se realizará un ensanchamiento en cada margen (franja de un ancho determinado medida desde la arista exterior del firme actual) que incluye la demolición del firme existente y su reposición posterior, del ancho necesario y con una profundidad variable que incluye la capa de explanada dispuesta originalmente.
- *Refuerzo de firme:* cuando el trazado de proyecto es coincidente con el existente o en el caso de ampliación de plataforma entre las franjas repuestas, se ejecuta un refuerzo del firme, de espesor y composición variable según las diferencias de cota entre las rasantes existente y renovada, y el estado de la sección actual. Incluye la rehabilitación estructural de la sección si se encuentra agotada, debiendo demolerse la parte dañada y disponiendo una sección lo más parecida posible a la existente.

El dimensionamiento de un firme requiere el conocimiento, entre otros, de los siguientes parámetros:

- El tráfico pesado (intensidad, composición, distribución de cargas y configuración).
- Las características del cimiento del firme, y en particular, su capacidad de soporte.
- Las condiciones climáticas que puedan afectar al comportamiento del firme.
- Las características de los materiales empleados en las distintas capas del firme.

2.- NORMATIVA EMPLEADA

Para este estudio del firme se han tenido en cuenta las siguientes publicaciones:

- Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana (ORDEN de 28 de noviembre de 2008).
- Norma 6.1 - I.C. "Secciones de Firmes" de la Instrucción de Carreteras, de la Dirección General de Carreteras (ORDEN FOM / 3460 / 2003 de 28 de noviembre).
- Norma 6.3 - I.C. "Rehabilitación de Firmes" de la Instrucción de Carreteras, de la Dirección General de Carreteras (ORDEN FOM / 3459 / 2003, de 28 de noviembre).
- "Ingeniería de Carreteras" Volumen II de C. Kraemer, J.M^o Pardillo, Sandro Rocci, Manuel G. Romana, Víctor Sánchez Blasco y M.A. del Val, editado por Mc Graw Hill (2004).
- Orden FOM/2523/2014, de 12 de diciembre, por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a materiales básicos, a firmes y pavimentos, y a señalización, balizamiento y sistemas de contención de vehículos.

3.- DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME DE LA CARRETERA

El dimensionamiento de un firme conduce a la obtención de una sección del mismo que le permita cumplir adecuadamente las siguientes funciones:

- Proporcionar una superficie de rodadura segura, cómoda y de características permanentes bajo las cargas repetidas del tráfico a lo largo de un período suficientemente largo de tiempo.
- Resistir las sollicitaciones del tráfico y repartir las presiones verticales debidas al mismo, de forma que las tensiones actuantes sobre la explanada sean compatibles con su capacidad de soporte.
- Proteger la explanada de la intemperie y, en particular, de las precipitaciones.

En cada uno de los tres tipos de actuación se parte de una información previa, necesaria para el dimensionamiento del firme.

3.1.- Sección de firme completa

El dimensionamiento de la sección de firme completa se realiza a partir de la obtención de los datos siguientes:

- Determinación de la categoría de tráfico pesado, según los datos del "Estudio de Tráfico".
- Determinación de la categoría de explanada, según los datos del "Estudio Geológico – Geotécnico".
- Caracterización climática del ámbito de trabajo.

Esta sección se aplicará en las ampliaciones de plataforma, como sección de referencia.

3.1.1.- Categoría de tráfico pesado

Según la *Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana*, a efectos del dimensionamiento de la sección de firme, el nivel de sollicitaciones de tráfico pesado (previsto durante la vida útil de la carretera) se expresa mediante la **categoría de tráfico pesado**. Para la definición de esta categoría, se debe emplear la información disponible al respecto, estableciéndose, en función de su cantidad, procedencia, fiabilidad y actualización, tres niveles de calidad de dicha información:

- 1-. Nivel inferior: si se dispone únicamente de:
 - Intensidad media diaria de vehículos pesados en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio (IMD_p).
- 2-. Nivel medio: si se dispone de los dos siguientes parámetros:
 - Intensidad media diaria de vehículos pesados en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio (IMD_p).
 - Coeficiente de agresividad medio del tráfico pesado (CAM).
- 3-. Nivel superior: cuando se disponga al menos de:
 - Espectro completo del tráfico pesado.
 - Estudio de velocidades de circulación.

En cualquiera de los casos, es recomendable la elaboración de un estudio de evolución del tráfico pesado, en el cual se contemplará el tráfico inducido y generado en los meses siguientes a la puesta en servicio, especialmente en el caso de obras de duplicación de calzada, así como el que pudiera derivarse de otras actuaciones incluidas en el Plan de Infraestructuras Estratégicas de la Comunidad Valenciana (PIE).

En el caso de no disponer de datos concretos sobre la evolución del tráfico pesado, y en especial de su asignación a los distintos carriles de la calzada, se adoptarán las siguientes hipótesis:

- Puede considerarse que el año de puesta en servicio es el tercero a partir de la fecha de redacción del proyecto, en este caso, 2020. El año de puesta en servicio es el 2023.
- En caso de construcción de vías de dos calzadas mediante la duplicación de una carretera convencional, se considerará en el año de la puesta en servicio un incremento adicional del tráfico pesado del 7%.
- En calzadas de dos carriles por sentido de circulación, incide sobre el carril exterior la totalidad de los vehículos pesados que circulan por la calzada.

Los valores de incidencia y evolución del tráfico pesado quedan reflejados en el “*Estudio de Tráfico*”.

De este anejo se extrae que la **categoría de tráfico pesado es T22** en la actuación.

3.1.2.- Formación de explanada

Se denomina explanada a la superficie de apoyo del firme. Por tanto, la explanada es la parte superior del cimiento del firme. Este cimiento está constituido en general por los propios suelos o la roca de la traza, por un suelo de aportación o, al menos en su parte superior, por un suelo estabilizado in situ.

Tradicionalmente se ha identificado el cimiento con la coronación del relleno o con la parte superior del fondo del desmonte, hasta una profundidad de unos 50 cm. En el estado actual de la técnica se debe considerar como parte del cimiento todo el espesor de materiales bajo la explanada cuyo comportamiento pueda influir en el del firme. Aunque ese espesor depende tanto de la naturaleza de los materiales como de la del firme, puede admitirse que llega hasta los 2 m.

En la formación de la explanada el objetivo debe ser conseguir una superficie:

- con geometría definida, de manera que el espesor de la capa inferior del firme pueda ser sensiblemente uniforme;
- poco sensible a los cambios de humedad;
- con unas pendientes que, aun siendo limitadas, permitan desaguar por gravedad el caudal, generalmente pequeño, que pueda infiltrarse a través del firme.

A los efectos de dimensionamiento de los firmes y en concreto para la caracterización de la explanada, la *Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana* propone algunas modificaciones respecto a la *Norma 6.1 IC*, entre las que se encuentran las siguientes:

- Se establecen cuatro categorías de explanada: E1, E2, E3 y E4 (figura 1).

La categoría de la explanada se define a partir de los resultados de ensayos de auscultación de la deflexión mediante un deflectómetro de impacto, calculando a partir de los registros el módulo elástico de superficie del cimiento del firme $E_{0,ck}$ (Mpa). En caso de no disponerse de deflectómetro de impacto, se pueden emplear los módulos de compresibilidad obtenidos en el segundo ciclo de carga de ensayos de carga con placa E_{v2} (Mpa).

Tabla 1. CARACTERIZACIÓN DE LAS EXPLANADAS.

CATEGORÍA EXPLANADA	E1	E2	E3	E4
$E_{0,ck}$ (MPA)	≥ 100	≥ 140	≥ 255	≥ 440
ν	0,40	0,40	0,35	0,30
E_{v2} (MPA)	≥ 50	≥ 100	≥ 225	≥ 425

Fuente: Creación propia, 2020.

- Se consideran seis tipos de materiales naturales, según las características definidas en el artículo 330 del PG-3:
 - IN: Suelos inadecuados o marginales.
 - 0: Suelos tolerables (con CBR ≥ 3).
 - 1: Suelos adecuados (con CBR ≥ 5, excepto cuando se dispongan en la capa superior de las empleadas en la formación de las explanadas, en cuyo caso deberán tener CBR ≥ 6).

- 2: Suelos seleccionados (con CBR ≥ 10 , excepto cuando se dispongan en la capa superior de las empleadas en la formación de las explanadas de categoría E2, en cuyo caso deberán tener CBR ≥ 12).
 - 3: Suelos seleccionados (con CBR ≥ 20 , excepto cuando se dispongan en la capa superior de las empleadas en la formación de las explanadas de categoría E3, en cuyo caso deberán tener CBR ≥ 30).
 - R: Roca
- Se consideran tres tipos de materiales estabilizados, según las características definidas en el artículo 512 del PG-3 del MFOM:
 - S-EST1: Suelos estabilizados in situ con cal o con cemento (con CBR ≥ 6 a los 7 días, y un mínimo del 2,0 % de cal o de cemento).
 - S-EST2: Suelos estabilizados in situ con cal o con cemento (con CBR ≥ 12 a los 7 días, y un mínimo del 3,0 % de cal o de cemento).
 - S-EST3: Suelos estabilizados in situ con cemento (con una resistencia a compresión simple de al menos 1,5 MPa a los 7 días, y un mínimo del 3,0 % de cemento).
- Las explanadas E4 se podrán formar, siempre que el terreno subyacente esté formado por suelos adecuados o materiales de mejor calidad, utilizando en la parte superior del cimiento suelos estabilizados in situ con cemento del tipo S-EST3.

Si los terrenos subyacentes están constituidos por suelos inadecuados, marginales o tolerables, sólo se podrán formar sin restricciones explanadas de categoría E1 o E2.

En las categorías de explanada E3 y E4, la naturaleza de la capa de subbase vendrá condicionada por la naturaleza de la explanada: sobre explanadas constituidas por suelos naturales (E3) sólo se podrán disponer subbases de zahorra, y sobre explanadas estabilizadas (E4) sólo se podrán disponer subbases de suelocemento, excepto bajo pavimentos de hormigón para categorías de tráfico pesado T31 e inferiores.

En las categorías de explanada E2, la naturaleza de la capa de subbase vendrá determinada preferentemente por la naturaleza de la explanada. Sobre explanadas constituidas por suelos naturales se dispondrán preferentemente subbases de zahorra, y sobre explanadas estabilizadas se dispondrán preferentemente subbases de suelocemento.

En la Tabla 2 adjunta se muestran las distintas posibilidades de formación de explanadas (el espesor mínimo considerado de un suelo determinado en el terreno subyacente es de 1 m) recogidas en la *Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana*.

- Las explanadas E1 se podrán formar, cualquiera que sea la naturaleza del terreno subyacente, utilizando en la parte superior del cimiento suelos adecuados (o mejores) con CBR igual o mayor de 6 o suelos estabilizados in situ con cal o con cemento del tipo S-EST1.
- Las explanadas E2 se podrán formar, cualquiera que sea la naturaleza del terreno subyacente, utilizando en la parte superior del cimiento suelos seleccionados con CBR igual o mayor de 12 o suelos estabilizados in situ con cal o con cemento del tipo S-EST2.
- Las explanadas E3 se podrán formar, siempre que el terreno subyacente esté formado por suelos adecuados o materiales de mejor calidad, utilizando en la parte superior del cimiento suelos seleccionados con un CBR igual o mayor de 30.

Tabla 2. FORMACIÓN DE EXPLANADAS. ESPESORES MÍNIMOS EN CM.

	Suelos inadecuados o marginales (IN)	Suelos tolerables (0)	Suelos adecuados (1)	Suelos seleccionados (2) y (3)	Roca (R)
E1	S-EST1 (30) 0 (60) IN S-EST1 (30) 1 (50) IN S-EST1 (30) S-EST1 (30) IN	S-EST1 (25) 0 2 (45) 0 1 (60) 0	Espesor mínimo de 100 cm		
E2	S-EST2 (30) 0 (80) IN S-EST2 (30) 1 (60) IN 2 (100) IN S-EST2 (30) S-EST1 (25) S-EST1 (25) IN	S-EST2 (30) 0 2 (75) 0	S-EST2 (25) 1 2 (50) 1	Espesor mínimo de 100 cm (únicamente suelos seleccionados 2)	2 (25) R
E3			3 (35) 1	Espesor mínimo de 100 cm (únicamente suelos seleccionados 3)	3 (20) R ZA (15) R
E4			S-EST3 (40) 1	S-EST3 (30) 2 S-EST3 (25) 3	SC (15) R HM R

Fuente: Norma de firmes de la Comunidad Valenciana, 2009.

De las conclusiones del *Estudio Geológico – Geotécnico*, se extrae la caracterización del suelo subyacente a la carretera proyectada según el PG-3; que se clasifica como **tolerable**, a excepción del tramo final de la actuación, donde el suelo es **marginal** (se considera en el tramo del polígono industrial, así como en las Glorietas 5 y 6).

3.1.3.- Caracterización climática

Según la *Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana*, las condiciones climáticas (térmicas y pluviométricas) de la zona en la que se ubica una carretera afectan al dimensionamiento del firme en diferentes aspectos, por lo que deberán ser consideradas por el proyectista.

La zona térmica afectará a:

- El módulo elástico de cálculo de las mezclas bituminosas.
- La elección del tipo y características exigibles al ligante bituminoso empleado en las mezclas bituminosas.
- La distancia entre juntas en los pavimentos de hormigón en masa sin pasadores en las juntas, y entre fisuras inducidas en la prefisuración de capas de otros materiales con cemento.
- La adopción de medidas complementarias si las temperaturas previstas son muy elevadas o muy bajas.

La zona pluviométrica afectará a:

- La elección del tipo y características exigibles a la capa de rodadura.
- La necesidad, o no, de sellado de las juntas transversales en los pavimentos de hormigón en masa.
- La adopción de medidas complementarias si son previsibles precipitaciones muy intensas o largos períodos de sequía extrema.

Según la zonificación establecida en la Comunidad Valenciana, de los mapas que incluye la norma se deduce que el tramo de carretera estudiado se ubica en:

- Zona térmica ZT3
- Zona pluviométrica ZP2

3.1.4.- Dimensionamiento de la sección

Para el dimensionamiento analítico de la sección completa, la *Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana* proporciona las directrices necesarias. Además, presenta las posibles soluciones de referencia en un catálogo de secciones de firme, las cuales han sido dimensionadas con criterios analíticos y empíricos, y que será de aplicación directa si los datos disponibles de tráfico son los correspondientes al nivel superior de información.

Puesto que las secciones propuestas sólo pueden considerarse equivalentes para una categoría de tráfico pesado y de explanada determinadas sólo en primera aproximación, es tarea del proyectista seleccionar entre las posibles soluciones, la que, como resultado de un análisis de adecuación técnica y económica, resulte más apropiada a las condiciones locales del proyecto, primando a estos efectos las cuestiones relacionadas con la disponibilidad de materiales y con los costes previsibles de conservación.

Todos los espesores de capa indicados se consideran mínimos en cualquier punto de la sección transversal del carril de proyecto.

Cada sección se designa por un código de cuatro (o tres) dígitos:

- Los dos (o el) primeros indican la categoría de tráfico pesado (T00 o T42).
- El tercero (o segundo) indica la categoría de explanada (E1 a E4).
- El último hace referencia al tipo de firme, con el siguiente criterio:
 - 1 para firme flexible (mezclas bituminosas sobre zahorra artificial).
 - 2 para firme semirrígido (mezclas bituminosas sobre suelocemento).
 - 3 para firme semirrígido (mezclas bituminosas sobre gravacemento).
 - 4 para firme rígido (pavimento de hormigón).

En el caso de que el dimensionamiento de la sección se realice empleando los niveles de calidad de la información de tráfico inferior o medio, el espesor de la capa estructural indicado en el catálogo se deberá incrementar en 3 cm (tres centímetros) para las categorías de tráfico pesado T21 o superiores, y en 2 cm (dos centímetros) para el resto. A estos efectos se considerará como capa estructural el suelocemento, la gravacemento, o el pavimento de hormigón en las secciones tipo 2, 3, o 4 respectivamente.

En las secciones tipo 1 se considera como capa estructural la inferior de mezcla bituminosa, si por encima de ella hay por lo menos otras dos; si no existiesen al menos tres capas de mezcla bituminosa, el espesor de la capa de zahorra artificial situada más arriba en el firme entre las que pudieren existir se incrementará en 5 cm (cinco centímetros).

3.1.5.- Planteamiento de alternativas posibles

El método no permite formar explanadas de categoría E3 y E4.

Además se ha decidido descartar:

- los pavimentos de hormigón por el inconveniente de ser ruidosos y, por tanto presentar mayor incidencia ambiental. El uso de firmes rígidos actualmente se destina a vías donde se busca una gran durabilidad ante un volumen de tráfico considerable. En este caso, se descarta porque el volumen de tráfico es escaso y no da continuidad al pavimento existente.
- las explanadas formadas por suelos estabilizados porque no constituyen una solución homogénea con respecto a lo existente en las áreas de ampliación.

Teniendo en cuenta la categoría de tráfico pesado, T22 en la carretera, y la caracterización del suelo como de tipo tolerable en la mayor parte del trazado, se procede a estudiar las diferentes opciones para la formación de explanada y resto de capas del firme.

Sobre un suelo subyacente **tolerable**, para una categoría de tráfico T22, se puede formar una explanada de categoría E1 o E2. Además, puesto que el trazado de la variante conlleva terraplenes de uno 3 m de altura o superior, se puede plantear disponer un metro de suelo adecuado e ir a explanada de categoría E3 o E4.

Por tanto, las soluciones posibles son las siguientes:

Tabla 3. ALTERNATIVAS DE FIRME POSIBLES.

Categoría tráfico pesado	Suelo Subyacente o Relleno	Explanada	Firmes	Espesor explanada (cm)	Explanada firme (cm)	Espesor sección (cm)		
T22	Tolerable (subyacente)	E1	25 cm S-EST1	2212	15 MB + 25 (+2) SC	25	42	67
			45 cm SS (2)	2211	23 (+2) MB + 40 ZA	45	65	110
			60 cm SA			60	65	125
T22	Tolerable (subyacente)	E2	30 cm S-EST2	2222	16 MB + 22 (+2) SC	30	40	70
			75 cm SS (2)	2221	20 (+2) MB + 30 ZA	75	52	127
T22	Adecuado (relleno espesor mínimo 100 cm)	E3	35 cm SS (3)	2231	14 (+2) MB + 30 ZA	135	46	181
T22	Adecuado (relleno espesor mínimo 100 cm)	E4	30 cm S-EST3	2242	11 MB + 20 (+2) SC	130	33	163

Fuente: Creación propia, 2020.

3.1.6.- Estudio económico de las alternativas

Se ha realizado un estudio económico de las secciones analizadas para el caso general, que corresponde a suelo tolerable, en tramo de nuevo trazado en terraplén, que se corresponde con el tramo en variante entre G1 y G4.

En el apéndice se incluye el estudio económico realizado sobre un espesor total de 2 m, cuyas conclusiones se muestran a continuación:

Suelo Subyacente o Relleno	Explanada	Firmes		TERRAPLEN				Total coste (€/m2)		
				Coste explanada (€/m2)	Coste firme (€/m2)	Espesor (m) terraplén adicional (en explanada) e max 1,35 m	Espesor (m) terraplén adicional (en firme) e max 0,65 m		Coste terraplén (€/m2)	
Tolerable (subyacente)	E1	25 cm S-EST1	2212	15 MB + 25 (+2) SC	2,74	24,53	1,10	0,23	5,99	33,25
		45 cm SS 2	2211	23 (+2) MB + 40 ZA	2,97	35,23	0,90	0,00	4,05	42,25
		80 cm SA			3,52	35,23	0,75	0,00	3,38	42,13
Tolerable (subyacente)	E2	30 cm S-EST2	2222	16 MB + 22 (+2) SC	3,26	24,75	1,05	0,25	5,85	33,86
		75 cm SS 2	2221	20 (+2) MB + 30 ZA	4,95	30,13	0,60	0,13	3,29	38,36
Adecuado (relleno espesor mínimo 100 cm)	E3	35 cm SS 3 (CBR 30)	2231	14 (+2) MB + 30 ZA	8,81	23,85	0,00	0,19	0,86	33,52
Adecuado (relleno espesor mínimo 100 cm)	E4	30 cm S-EST3	2242	11 MB + 20 (+2) SC	9,63	18,88	0,05	0,32	1,67	30,17

La selección de la sección de firme se ha realizado atendiendo a los criterios marcados por la Conselleria. Aunque la solución más económica es la E4, se ha descartado por motivos técnicos ya que, al tener sólo dos capas de mezcla bituminosa, durante la ejecución de la capa intermedia puede haber problemas de esponjamiento que se trasladan a la capa de rodadura BBTM y el acabado no sea adecuado.

Así pues, las secciones más económicas son la E3 y las de suelo estabilizado E1/E2, con escasas diferencias entre ellas. De las tres, se ha considerado más adecuada la **2222**, ya que da más flexibilidad porque no obliga a obtener un suelo concreto (suelo seleccionado con CBR mayor a 30) y permite una menor diferencia con la sección que se adoptará en los tramos de glorietas (donde no se emplea rodadura BBTM).

3.1.7.- Sección de firme seleccionada

Por tanto, para el tramo en variante (entre G1 y G4) se dispondrá una explanada E2; formada por 30 cm de suelo estabilizado S-EST2 sobre suelo tolerable, coronada por una sección de firme **2222**, formada por 16 cm de MB sobre 24 cm de suelocemento.

La capa de rodadura será del tipo **BBTM 11B pórfido M** y su espesor será de 3 cm. La capa intermedia será del tipo **AC22 bin calizo S** y su espesor mínimo será 5 cm. La capa de base será **AC32 base calizo G** y su espesor mínimo será de 8 cm.

3.1.8.- Firme sobre estructuras

Debido a las numerosas estructuras existentes en la carretera proyectada, se considera como norma general la ejecución sobre las mismas del paquete completo de firme, es decir 24 cm de suelocemento y 16 cm de mezcla bituminosa. De este modo se evitarán las transiciones y las posibles deformaciones del firme.

Sin embargo, por cuestiones de falta de cota y/o ajuste de la rasante, en algunas de las estructuras, tan solo se prevé la ejecución de la capa de rodadura. Las estructuras en las que solo se ejecutará dicha capa de firme son las siguientes:

Tabla 4. ESTRUCTURAS SOBRE LAS QUE SOLO SE EJECUTARÁ LA RODADURA

Paso	Eje	PK inicial	PK final	Zona
1	16	30,934	39,966	Camino en glorieta 1
2	1	7	11	Glorieta 1
	1	110	114	
5	2	184,423	-	Estructura sobre bco del Malet
	2	-	240,868	
8	2	716,423	784,101	Estructura sobre río Vaca
9	2	885,427	917,651	Paso inferior camí del Pla
12	2	1155,118	1206,229	Paso inferior camí del Clot
15	2	1500,821	1507,243	Glorieta 2
23	4	2272,539	2369,347	Estructura en el Vergeret
24	4	2586,042	2615,358	Estructura sobre río Vaca
25	4	2623,677	2634,304	Paso inferior camí Vell de Gandía
32	6	3149,588	3187,755	Paso inferior camino
34	6	3351,62	3382,427	Estructura sobre cauce

Fuente: Creación propia, 2020.

3.1.9.- Firme en arcenes

Según la Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana, "...el firme de los arcenes de anchura no superior a 1,00 m será, por razones constructivas, prolongación del firme de la calzada adyacente. Su ejecución será simultánea, sin junta longitudinal entre la calzada y el arcén."

Tanto en las glorietas proyectadas como en el tramo del polígono industrial de El Teularet y en la conexión entre las glorietas 5 y 6, la anchura de los arcenes no es superior a 1,00 m; por tanto, en estos casos los arcenes se ejecutarán con la misma sección de firme que la calzada.

En el tronco de la variante, los arcenes previstos son superiores a 1,00 m. Según la *Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana*, en este caso y para categorías de tráfico T22-T31, considerando que la rodadura es BBTM, el pavimento del arcén constará de las capas de mezcla bituminosa de rodadura e intermedia, mientras que debajo del pavimento del arcén se dispondrá zahorra artificial hasta alcanzar la explanada.

Atendiendo por tanto a estas indicaciones, el firme del arcén del tronco de la variante estará formado por las siguientes capas:

- Capa de rodadura 3 cm BBTM 11B
- Capa intermedia 5 cm AC 22 bin S
- Capa de sub-base 32 cm Zahorra artificial

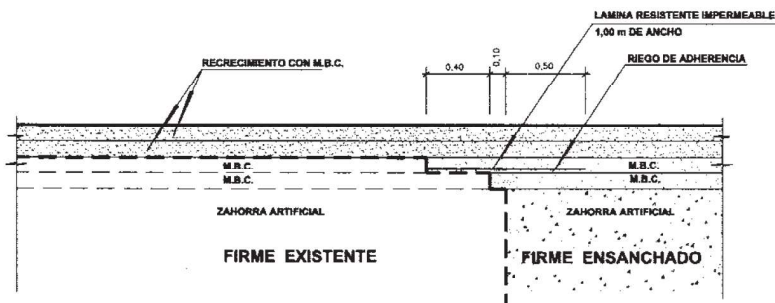
3.2.- Ampliación de plataforma

Para el proyecto del firme en la ampliación de la plataforma se ha tenido en cuenta lo dispuesto en la *Norma 6.3 - I.C. "Rehabilitación de Firmes"* de la Instrucción de Carreteras, apartado 12.3 *Ampliación de la sección transversal*, que se cita a continuación.

"En caso de que sea necesario proyectar ensanches, habrá que tener cuidado no sólo de no perjudicar el drenaje del firme, sino de mejorarlo, siempre que sea posible, realizando el ensanche con un material realmente drenante o colocando los dispositivos adecuados de drenaje del firme.

Dadas las dificultades de ejecución de este tipo de obras (estado de los bordes de la zona excavada, dificultades de extensión y compactación de las distintas capas, etc.), deberán realizarse de acuerdo con una programación detallada aprobada con suficiente antelación. La excavación se proyectará escalonada y saneando suficientemente los bordes del firme existente (figura 1). (...)

Imagen 1. ESQUEMA DE SECCIÓN TIPO DE ENSANCHE DE FIRME.



Fuente: Norma 6.3-I.C. *Rehabilitación de firmes*, 2003.

Los ensanches deberán proyectarse con una sección estructural de capacidad resistente similar a la del resto de la sección del firme, y compactando convenientemente los materiales para que no se produzca, por asiento diferencial, un escalón o una grieta longitudinal. Además, el contacto entre el firme existente y el ensanche nunca deberá coincidir con la futura zona de rodada de los vehículos pesados."

Como muestra la figura, se dispondrá el relleno necesario, incluso capa base de aglomerado, hasta la cota de la rasante actual, ejecutando las capas restantes de mezcla bituminosa de forma continua en la plataforma completa, existente y ensanchada, con el espesor que el refuerzo en cada tramo requiere, siempre que en la zona ensanchada se alcance el mínimo de la sección completa dimensionada.

En el tramo del polígono industrial y las Glorietas 5 y 6 se realizará una ampliación de la plataforma sobre la sección de firme existente. Por tanto, se proyecta una sección de firme flexible (2221) consistente en 22 cm de mezcla bituminosa sobre 30 cm de zahorra, con una explanada E2 (mejora de 1 m de suelo seleccionado 2 sobre suelo marginal).

En el tramo del polígono industrial (Eje 8), los 22 cm de mezcla bituminosa estarán distribuidos en 11 cm de capa base AC32 base 50/70 calizo G, 8 cm de capa intermedia AC22 bin 50/70 calizo S y 3 cm de capa de rodadura tipo BBTM 11B PMB 45/80 Pórfido M.

En las glorietas 5 y 6, los 22 cm de mezcla bituminosa estarán distribuidos en 11 cm de capa base AC32 base 50/70 calizo G, 6 cm de capa intermedia AC22 bin 50/70 calizo S y 5 cm de capa de rodadura tipo AC16 surf 50/70 Pórfido S.

3.3.- Refuerzo de firme

3.3.1.- Descripción de la actuación

Cuando el trazado de proyecto es coincidente con el existente o en el caso de ampliación de plataforma, entre las franjas repuestas, se ejecuta un refuerzo del firme, de espesor y composición variable según las diferencias de cota entre las rasantes existente y renovada, y el estado de la sección actual.

Para el diseño del refuerzo y la reparación estructural, se ha analizado el estado superficial del firme existente (resultados de la toma de testigos e inspección visual de la infraestructura) en base a lo expuesto en la *Norma 6.3 - I.C. "Rehabilitación de Firmes"* de la Instrucción de Carreteras.

El recimiento aplicado sobre el pavimento existente es una medida que, combinada con la reparación puntual de tramos agotados, resuelve problemas tanto estructurales (aquellos que afectan a la vida útil de la explanada y del firme) como superficiales (aquellos que afectan a la seguridad de la circulación, la comodidad del usuario o la durabilidad del pavimento.).

3.3.2.- Inspección visual del estado del firme

Según la Norma 6.3 - I.C. "Rehabilitación de Firmes" de la Instrucción de Carreteras, la actuación debe basarse al menos en una inspección visual detallada del firme y de aquellos aspectos de su entorno que puedan tener influencia en su estado.

3.3.3.- Dimensionamiento del refuerzo

La solución finalmente adoptada consiste en ejecutar un refuerzo mínimo de la capa de rodadura y, en caso necesario, regularización con la capa intermedia. La capa de rodadura se ejecutará de forma conjunta con la capa de rodadura cuando exista sección de firme completa. En algunas ocasiones será necesario reperfilado la calzada actual para adaptarse a la definición de la nueva rasante. Este reperfilado se hará con AC 22 bin S.

4.- FIRME EN VIALES SECUNDARIOS

En los ramales secundarios no se ejecutará el mismo firme que en el tronco pues se espera que el tráfico de vehículos pesados sea menor. Estos ramales sirven de acceso a la red de caminos próximos, siendo el tráfico previsto muy escaso, por ello se considera para los mismos tres categorías menos que en el tronco, es decir una T41.

Además, por facilidad constructiva se ha decidido ejecutar una sección completa. Se ejecutará en los viales secundarios una sección **4121** del catálogo de secciones de la norma autonómica.

Por lo tanto, se ejecutará una explanada E2 con 75 o 100 cm de suelo seleccionado (sobre suelo tolerable o marginal). Sobre ella se colocan 35 cm de ZA y 11 cm de MBC. La capa de rodadura será del tipo AC 16 surf calizo S y su espesor será de 5 cm. La capa intermedia será AC 22 bin calizo S y su espesor será de 6 cm.

5.- FIRME EN CARRIL CICLOPEATONAL

El carril ciclopeatonal a lo largo de la variante de Tavernes de la Valldigna discurre en ocasiones al mismo nivel que la carretera, mientras que en otras ocasiones discurre a cota de terreno, con el fin de darle conectividad con los caminos existentes.

Cuando el carril ciclopeatonal discurre al mismo nivel que el tronco de la carretera su pavimento estará compuesto por 20 cm de hormigón coloreado HNE-15/P/20/I sobre 20 cm de zahorra artificial.

En los tramos que el carril ciclopeatonal discurre a cota de terreno, el pavimento estará compuesto también por 20 cm de hormigón HNE-15/P/20/I sobre 20 cm de zahorra artificial. Se retirará la tierra vegetal y se rellenará con suelo tolerable el terraplén que resulte necesario.

6.- FIRME EN CAMINOS

A lo largo de ámbito de actuación existen numerosos caminos agrícolas que se verán afectados por las obras.

Los caminos que se afectan se repondrán para mantener la conectividad entre los caminos existentes. Dichos caminos a reponer se ejecutarán con 5 cm de mezcla bituminosa AC 16 surf S sobre 40 cm de zahorra artificial.

En los planos de Reposición de servicios, se pueden consultar la ubicación de los caminos a reponer.

7.- MATERIALES DEL FIRME

A continuación, se describirán los materiales que formarán las capas del firme especificadas en los apartados anteriores. En general, los materiales bituminosos y zahorras que se citan a continuación deberán cumplir las condiciones indicadas en el apartado 6.2 Materiales de la Norma Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana. En caso de indefinición, se recurrirá a lo descrito en el "Pliego de prescripciones técnicas generales para las obras de carreteras y puentes PG-3".

Concretamente para las zahorras artificiales deberá considerarse lo establecido en el Anejo A1: Prescripciones técnicas particulares de la unidad de obra "Zahorra artificial" de la Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana.

En lo referente a los hormigones, se regirán por lo dispuesto en la "Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)".

7.1.- Mezclas bituminosas en caliente

Consiste en la combinación de un ligante hidrocarbonado y áridos (incluido el polvo mineral o filler), de manera que todas las partículas de árido queden recubiertas de una película de ligante. Las mezclas en caliente se fabrican con betunes de penetración siendo necesario calentar el ligante y los áridos, y se ponen en obra a temperatura muy superior a la ambiente para poder extender y compactar estos materiales adecuadamente.

El 1 de marzo de 2008 entró en vigor el marcado CE de las mezclas bituminosas en caliente, con carácter obligatorio, lo que supone tener que definir estos materiales de acuerdo con las normas UNE-EN 13108 y caracterizarlos mediante los métodos de ensayo descritos en las normas UNE-EN 12697.

En el Pliego de Prescripciones Técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3) del Ministerio de Fomento las especificaciones de las mezclas bituminosas en caliente están recogidas en los artículos 542 (Mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso) y 543 (Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas), modificados por la Orden FOM/2523/2014, de 12 de diciembre del Ministerio de Fomento.

La Norma de Secciones de firme de la Comunitat Valenciana recoge en un Anejo las precisiones necesarias para adaptarse a lo que impone el marcado CE de las mezclas bituminosas en caliente.

En este apartado vamos a fijar los parámetros de análisis para la definición de las mezclas: tipos de mezclas, tipo de betún y contenido mínimo, tipos de áridos y contenidos en polvo mineral.

7.1.1.- **Espesores de las capas de mezcla bituminosa**

La Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana propone los siguientes espesores para las capas de mezcla bituminosa:

Tabla 5. TABLA A.1 DE LA NORMA DE FIRMES DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

Tabla A.1 – Espesores de las capas de mezcla bituminosa			
Tipo de capa	Tipo de mezcla	Categoría de tráfico pesado	
		T00 a T21	T22 y T31 - T32 a T42
Rodadura	PA 11 ⁽¹⁾	4	
	BBTM 11 B M		3
	BBTM 8 B M		2
	BBTM 11 A F		3
	BBTM 8 A F		2
	AC 16 surf D	5 - 6	5
	AC 22 surf D		
	AC 16 surf S		
AC 22 surf S			
Intermedia	AC 22 bin D	5 - 10	
	AC 22 bin S		
	AC 32 bin S		
	AC 22 bin G ⁽²⁾		
	AC 32 bin G ⁽²⁾		
Base	AC 22 bin 15/25 MAM	7 - 13	
	AC 32 base S	7 - 15	
	AC 22 base G		
	AC 32 base G		
	AC 22 base 15/25 MAM	7 - 13	

⁽¹⁾ Se podrán proyectar pavimentos con mezcla drenante PA, siempre que se justifique detalladamente su idoneidad para el caso concreto del que se trate. La justificación deberá tener en cuenta, entre otros factores, la inclinación longitudinal de la vía, la pluviometría de la zona, la intensidad total del tráfico y la necesidad de reducir el ruido en las márgenes de la carretera. En cualquier caso, la longitud pavimentada con este tipo de mezcla no será inferior a 500 m.

⁽²⁾ Las mezclas tipo AC 22 bin G y AC 32 bin G únicamente podrán emplearse cuando la capa de rodadura sea tipo AC (es decir, nunca bajo rodaduras tipo PA o BBTM) y con una dotación mínima de ligante del 4,0 % en masa sobre el total del árido seco incluido el polvo mineral (3,85 % sobre la masa total de la mezcla).

Fuente: Norma de firmes de la Comunidad Valenciana, 2009.

Para una categoría de tráfico T22, los espesores considerados para la carretera proyectada se ajustan a los establecidos por la Norma.

En el tronco:

- Rodadura: 3 cm de BBTM 11B
- Intermedia: 5 cm de AC 22 bin S
- Base: 8 cm de AC32 base G

En glorietas y ramales:

- Rodadura: 5 cm de AC16 surf S
- Intermedia: 5 cm de AC 22 bin S
- Base: 7 cm de AC32 base G

Se ha escogido una mezcla BBTM B para el tronco, en cumplimiento de las indicaciones de la Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana, para zona pluviométrica ZP2 con intensidad de tráfico superior a 10.000 vehículos/día, independientemente del tráfico pesado.

7.1.2.- **Betún**

El ligante hidrocarbonado a emplear será seleccionado en función de la capa a que se destine la mezcla bituminosa en caliente, de la zona térmica en que se encuentre y de la categoría de tráfico pesado, entre los que se indican en las tablas siguientes.

Tabla 6. TABLA 542.1 DEL PG-3

TABLA 542.1.a TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR EN CAPA DE RODADURA Y SIGUIENTE (*)
(artículos 211 y 212 de este Pliego, y reglamentación específica vigente DGC)

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
	T00	T0	T1	T2 y T31	T32 y ARCENES	T4
Cálida	35/50 BC35/50 PMB 25/55-65 PMB 45/80-65	35/50 BC35/50 PMB 25/55-65 PMB 45/80-65	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70 PMB 45/80-65	50/70 BC50/70		
Media	35/50 BC35/50 PMB 45/80-60 PMB 45/80-65	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 70/100 BC50/70		50/70 70/100 BC50/70
Templada	50/70 BC50/70 PMB 45/80-60 PMB 45/80-65	50/70 70/100 BC50/70 PMB 45/80-60				

(*) Se podrán emplear también betunes modificados con caucho que sean equivalentes a los betunes modificados de esta tabla, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 212 de este Pliego. En ese caso, a la denominación del betún se añadirá una letra C mayúscula, para indicar que el agente modificador es polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso.
Se podrán emplear también betunes multigrados, que sean equivalentes en el intervalo de penetración, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 211 de este Pliego.

TABLA 542.1.b TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR CAPA DE BASE, BAJO OTRAS DOS
(artículos 211 y 212 de este Pliego, y reglamentación específica vigente DGC)

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
	T00	T0	T1	T2 y T3
Cálida		35/50 BC35/50 PMB 25/55-65	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70	50/70 BC50/70
Media			50/70 70/100 BC50/70	
Templada		50/70 70/100 BC50/70		70/100

(*) Se podrán emplear también betunes modificados con caucho que sean equivalentes a los betunes modificados de esta tabla, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 212 de este Pliego. En ese caso, a la denominación del betún se añadirá una letra C mayúscula, para indicar que el agente modificador es polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso.
Se podrán emplear también betunes multigrados, que sean equivalentes en el intervalo de penetración, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 211 de este Pliego.

Fuente: PG-3, 2014.

Tabla 7. TABLA 543.1 DEL PG-3

TABLA 543.1 TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR (*)
(artículos 211 y 212 de este Pliego y reglamentación específica vigente DGC)

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00 y T0	T1	T2 (**) y T31	T32 y ARCENES	T4
Discontinua	PMB 45/80-65	PMB 45/80-65 PMB 45/80-60	PMB 45/80-60 50/70 BC50/70	50/70 70/100 BC50/70	
Drenante	PMB 45/80-65	PMB 45/80-65 PMB 45/80-60	PMB 45/80-60 50/70 BC50/70	50/70 70/100 BC50/70	

(*) Se podrán emplear también betunes modificados con caucho que sean equivalentes a los betunes modificados de esta tabla, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 212 de este Pliego. En ese caso, a la denominación del betún se le añadirá una letra C mayúscula, para indicar que el agente modificador es polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso.

Se podrán emplear también betunes multigrados, que sean equivalentes en el intervalo de penetración, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 211 de este Pliego.

(**) Para tráfico T2 se emplearán betunes modificados en autovías o cuando la IMD sea superior a 5 000 vehículos por día y carril.

Fuente: PG-3, 2014.

Tabla 8. TABLA 16A DE LA NORMA DE FIRMES DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

Tabla 16A - Tipo de ligante a emplear (capa de rodadura y siguiente)

Zona térmica	Categoría de tráfico pesado				
	T00 a T21	T21	T22 a T32	T41 y T42	Arcenes
ZT1, ZT2, ZT3	35/50 50/70 PMB 25/55-65 PMB 45/80-65	50/70 PMB 45/80-60b	50/70 PMB 45/80-60b	50/70	50/70
ZT4	35/50 PMB 25/55-65 PMB 45/80-65	35/50 50/70 PMB 25/55-65 PMB 45/80-60b	35/50 50/70 PMB 45/80-60b	50/70	50/70

Fuente: Norma de firmes de la Comunidad Valenciana, 2009.

Tabla 9. TABLA 16B DE LA NORMA DE FIRMES DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

Tabla 16B - Tipo de ligante a emplear (capa de base, bajo otras dos)

Zona térmica	Categoría de tráfico pesado		
	T00 y T0	T1 y T21	T22 a T32
ZT1, ZT2, ZT3	50/70	50/70	50/70
	PMB 25/55-65		
ZT4	35/50	35/50	50/70
	PMB 25/55-65		

Fuente: Norma de firmes de la Comunidad Valenciana, 2009.

Siguiendo las recomendaciones de la norma valenciana y del PG-3 para la elección del tipo de betún, teniendo en cuenta que la actuación se encuentra en zona térmica ZT3 y el tráfico de pesados es de categoría T22, se adopta un betún tipo B50/70 tanto para la capa de rodadura como para las capas intermedia y de base. En la rodadura BBTM se adopta betún PMB 45/80-60b.

La Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana establece las dotaciones mínimas que se deben cumplir en cuanto a betún (% en masa sobre el total de la mezcla):

Tabla 10. TABLA A.3 DE LA NORMA DE FIRMES DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

Tabla A.3 – Dotaciones mínimas de betún (tanto por ciento sobre la masa total de la mezcla)

Tipo de capa	Tipo de mezcla	Dotación mínima (% s/m)
Rodadura	PA 11	4,30
	BBTM 11 B M	4,75
	BBTM 8 B M	4,75
	BBTM 11 A F	5,20
	BBTM 8 A F	5,20
	AC 16 surf D	4,55
	AC 22 surf D	4,55
	AC 16 surf S	4,55
Intermedia	AC 22 surf S	4,55
	AC 22 bin D	3,85
	AC 22 bin S	3,85
	AC 32 bin S	3,85
	AC 22 bin G	3,85
	AC 32 bin G	3,85
Base	AC 22 bin 15/25 MAM	5,00
	AC 32 base S	3,40
	AC 22 base G	3,40
	AC 32 base G	3,40
	AC 22 base 15/25 MAM	5,00

Fuente: Norma de firmes de la Comunidad Valenciana, 2009.

Teniendo en cuenta los condicionantes anteriores y las prescripciones del PG-3, para las mezclas empleadas en la actuación proyectada, tendremos los siguientes porcentajes mínimos de betún para cada una de las utilizadas:

Tabla 11. PORCENTAJES MÍNIMOS DE BETÚN PARA LAS MEZCLAS PROYECTADAS

TIPO DE MEZCLA	% BETÚN MÍNIMO
AC 16 surf S	4,55
BBTM 11 B	4,75
AC 22 bin S	4,00
AC 32 base G	4,00

Fuente: Creación propia, 2020.

7.1.3.- Áridos

En general, se utilizará árido calizo en todas las capas del firme, exceptuando únicamente su empleo como árido grueso en capas de rodadura por ser fácilmente pulimentable: con tráficos intensos pueden dar lugar a superficies deslizables en un período corto de tiempo. En este caso, se utilizará árido porfídico como árido grueso en la capa de rodadura, ya que sus cualidades de resistencia al pulimento los hacen idóneos para garantizar la textura superficial necesaria en un período de tiempo dilatado, incluso con tráficos intensos.

Se le exigirá un coeficiente de pulimento acelerado mayor o igual que 50 para las categorías de tráfico T0 a T22; mayor o igual a 44 para el resto de categorías de tráfico pesado y para arcenes.

7.1.4.- Filler y % de betún

El polvo mineral podrá proceder de los áridos, separándose de ellos por medio de los ciclones de la central de fabricación, o aportarse a la mezcla por separado de aquellos como un producto comercial o especialmente preparado. La proporción del polvo mineral de aportación a emplear en la mezcla deberá cumplir lo fijado en las tablas 542.6 del PG-3, teniendo en cuenta la categoría del tráfico pesado y la capa a que se destine la mezcla:

- Para la capa de rodadura el filler a emplear será en un 100% de aportación.
- Para las capas intermedia y base el filler a emplear será al menos en un 50% de aportación.

La relación ponderal recomendable entre los contenidos de polvo mineral (filler) y ligante hidrocarbonado de las mezclas densas, semidensas y gruesas, en función de la categoría de tráfico pesado y de la zona térmica estival se establece en la Tabla 542.12 del PG-3. Para una zona térmica estival media es la siguiente:

Tabla 12. RELACIÓN FILLER/BETÚN PARA LAS MEZCLAS PROYECTADAS

TIPO DE CAPA	FILLER / BETÚN
RODADURA	1,2
INTERMEDIA	1,1
BASE	1,0

Fuente: Creación propia, 2020.

Para las mezclas BBTM B, la relación ha de estar entre 1,0 y 1,2.

Se obtiene, por lo tanto, el contenido en filler sobre el peso total de la mezcla:

Tabla 13. PORCENTAJES MÍNIMOS DE BETÚN Y FILLER PARA LAS MEZCLAS PROYECTADAS

TIPO DE MEZCLA	% BETÚN	FILLER
AC 16 surf S	4,55	5,46 %
BBTM 11 B	4,75	5,70 %
AC 22 bin S	4,00	4,40 %
AC 32 base G	4,00	4,00 %

Fuente: Creación propia, 2020.

A partir de los resultados obtenidos, que se recopilan en la tabla siguiente, se comprueba que, efectivamente, los porcentajes de filler obtenidos se inscriben en los husos granulométricos de cada una de las mezclas bituminosas.

Tabla 14. TABLA A.2A DE LA NORMA DE FIRMES DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

Tabla A.2.a - Husos granulométricos de los hormigones bituminosos

Tamices UNE-EN 933-2 (mm)	AC16D	AC22D	AC16S	AC22S	AC32S	AC22G	AC32G	AC22MAM
45					100		100	
32		100		100	90-100	100	90-100	100
22	100	90-100	100	90-100		90-100		90-100
16	90-100	73-88	90-100	70-88	68-82	65-86	58-76	70-88
8	64-74	55-70	60-75	50-66	50-66	40-60	35-54	50-66
4	44-59		35-50					
2	31-46	31-46	24-38	24-38	24-38	18-32	18-32	24-38
0,500	16-27	16-27	11-21	11-21	11-21	7-18	7-18	11-21
0,250	11-20	11-20	7-15	7-15	7-15	4-12	4-12	8-15
0,063	4-8	4-8	3-7	3-7	3-7	2-5	2-5	6-9

Fuente: Norma de firmes de la Comunidad Valenciana, 2009.

De esta tabla se extraen los siguientes valores de comparación:

Tabla 15. VALORES DE COMPARACIÓN DE FILLER PARA LAS MEZCLAS PROYECTADAS

TIPO DE MEZCLA	TAMIZ 0,063 (FILLER)	FILLER
AC 16 bin PORFIDO S	3 – 7 %	5,46 %
BBTM 11 B	4 – 6 %	5,70 %
AC 22 bin 50/70 CALIZO S	3 – 7 %	4,40 %
AC 32 base 50/70 CALIZO G	2 – 5 %	4,00 %

Fuente: Creación propia, 2020.

7.2.- Riego de imprimación

Consiste en la aplicación de un ligante fluido sobre una superficie no tratada anteriormente con ningún conglomerante o ligante (capa granular o explanada). Se pretende que el riego penetre ligeramente, prepare la superficie de apoyo y contribuya a la sujeción de la capa bituminosa o tratamiento superficial posteriores. En este caso, se aplicará un riego de imprimación sobre la base granular de zavorra artificial previamente a la extensión sobre ésta de la capa bituminosa y se realizará a base de una emulsión bituminosa especial para los riegos de imprimación tipo C50 BF4 IMP, con una dotación tipo del orden de 1,2 kg/m² de betún residual.

En el Plano de Secciones Tipo se muestra la colocación de los riegos de imprimación necesarios, según las diferentes secciones de firme adoptadas.

7.3.- Riego de adherencia

Consiste en la aplicación de una pequeña cantidad de emulsión bituminosa, del orden de 0,6 kg/m² de betún residual, sobre una superficie bituminosa o tratada con un conglomerante hidráulico para conseguir su unión con otra capa bituminosa que va a ejecutarse posteriormente.

El tipo de ligante a emplear debe ser de rotura rápida para conseguir un buen reparto con poca dotación y permitir la rápida extensión de la nueva capa, y con una baja concentración de betún residual, escogiendo en nuestro caso, una emulsión tipo C60 B3 ADH.

Tanto los riegos de adherencia como los de imprimación son fundamentales para el comportamiento estructural del firme como un conjunto solidario, por lo que son unos de los elementos de nuestro firme en los cuales se debe exigir un mayor control de ejecución y puesta en obra.

En el Plano de Secciones Tipo se muestra la colocación de los riegos de adherencia necesarios, según las diferentes secciones de firme adoptadas.

7.4.- Riego de curado

Se define como riego de curado la aplicación de una película continua y uniforme de emulsión bituminosa sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, al objeto de dar impermeabilidad a toda su superficie.

En el instante de ejecutar una capa de suelocemento o gravacemento o la estabilización de la explanada con cemento, es preceptivo ejecutar un riego de curado. Transcurrido el período de curado se eliminará éste por algún método aprobado por el Director de las Obras con objeto de preparar la superficie para recibir el riego de adherencia (habitualmente se realiza mediante barrido enérgico y/o mediante agua a presión). En la práctica será preciso realizar el barrido enérgico en todos los casos en que haya existido

tráfico de obra y la superficie del riego de curado esté sucia o con polvo, con objeto de asegurar la adherencia. Ello contribuirá a que, desde el punto de vista estructural, el paquete de firme se comporte de manera solidaria y el suelo cemento pueda absorber parte de las tracciones de las capas superiores.

Se empleará una emulsión de tipo C60 B3 CUR según indica el PG-3.

En el Plano de Secciones Tipo se muestra la colocación de los riegos de curado necesarios, según las diferentes secciones de firme adoptadas.

7.5.- Subbases granulares

Las subbases granulares estarán constituidas por zavorras artificiales, formados por áridos de cantera o por áridos de graveras sometidos a un proceso de machaqueo, cuya granulometría es de tipo continua. Para la subbase del firme proyectado, que será una ZA-25, deberán cumplirse las limitaciones del Anejo A1: Prescripciones técnicas particulares de la unidad de obra "Zavorra artificial" de la Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana, tal y como se recoge en el Pliego de Condiciones de este proyecto.

8.- CONCLUSIONES

De otros anejos del proyecto, se deduce una categoría de tráfico T22 y una clasificación del suelo subyacente como **tolerable**, a excepción del tramo final de la actuación, donde el suelo es **marginal** (se considera en el tramo del polígono industrial, así como en las Glorietas 5 y 6).

Para el **tramo en variante**, en el tronco de la CV-50, la sección de firme completa comprende la formación de una explanada E2, formada por 30 cm de suelo estabilizado S-EST2. La explanada irá coronada por una sección de firme 2222, formada por 16 cm de MB sobre 24 cm de suelocemento.

Los 16 cm de mezcla bituminosa se reparten en 3 capas. La capa de rodadura será del tipo **BBTM 11B** y su espesor será de 3 cm. La capa intermedia será del tipo **AC 22 bin calizo S** y su espesor mínimo será 5 cm. La capa de base será **AC 32 base calizo G** y su espesor mínimo será de 8 cm. En las glorietas y ramales de aproximación, se sustituye la rodadura por una capa **AC 16 surf pórfido S** de 5 cm de espesor. Las capas intermedia y de base tendrán un espesor de 5 y 7 cm respectivamente.

En el tronco de la variante, los arcenes previstos son superiores a 1,00 m, por lo que el pavimento del arcén constará de las capas de rodadura e intermedia de mezcla bituminosa con el mismo espesor que la calzada, mientras que debajo del pavimento del arcén se dispondrá zavorra artificial hasta alcanzar la explanada.

En general sobre las estructuras proyectadas se ejecutará el paquete completo de firme, de este modo se evitarán las transiciones y las posibles deformaciones del firme. Sin embargo, en algunas de las estructuras, por cuestiones de falta de cota y/o ajuste de la rasante, solo se prevé la ejecución de la capa de rodadura.

Para la **ampliación de la plataforma** en la zona del polígono industrial de El Teularet se estará conforme a lo dispuesto en la *Norma 6.3 - I.C. "Rehabilitación de Firmes"* de la Instrucción de Carreteras, apartado 12.3 *Ampliación de la sección transversal*.

El refuerzo del firme se realizará según lo estipulado en la *Norma 6.3 - I.C. "Rehabilitación de Firmes"* de la Instrucción de Carreteras. Incluirá al menos la capa de rodadura y en ciertos casos, otra capa de regularización cuando sea necesario.

En el tramo del polígono industrial y las Glorietas 5 y 6 se realizará la ampliación de la plataforma sobre la sección de firme existente. Por tanto, se proyecta una sección de firme flexible (**2221**) consistente en 22 cm de mezcla bituminosa sobre 30 cm de zahorra, con una explanada E2 (mejora de 1 m de suelo seleccionado 2 sobre suelo marginal).

Tanto en las glorietas proyectadas como en el tramo del polígono industrial de El Teularet y en la conexión entre las glorietas 5 y 6, la anchura de los arcenes no es superior a 1,00 m; por tanto en estos casos los arcenes se ejecutarán con la misma sección de firme que la calzada.

En los **viales secundarios**, se ejecutará una explanada E2 con 75 o 100 cm de suelo seleccionado sobre suelo tolerable o marginal. Sobre ella se colocan 35 cm de ZA y 11 cm de MBC. La capa de rodadura será del tipo AC 16 surf S y su espesor será de 5 cm. La capa intermedia será AC 22 bin S y su espesor será de 6 cm.

El **carril ciclopeatonal** se ejecutará con 20 cm de hormigón HNE-15/P/20/I sobre 20 cm de zahorra artificial.

**APÉNDICE: ESTUDIO ECONÓMICO DEL
FIRME**

T22 sobre suelo tolerable

EXPLANADA			
	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Precio (€/m ³)
(E1) S-EST 1	0,25	0,25	9,75
RIEGO CURADO		1	0,30
Rel. terraplén adicional (e _{max} =1,35)	1,10	1,10	4,50
Sobre-excavación desmonte (e _{min} =0,25)	0,00	0,00	2,35
TOTAL T			7,49
TOTAL D			2,44

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Precio (€/m ³)
(E1) SELECCIONADO (S TIPO 2)	0,45	0,45	6,60
Rel. terraplén adicional (e _{max} =1,35)	0,90	0,90	4,50
Sobre-excavación desmonte (e _{min} =0,25)	0,20	0,20	2,35
TOTAL T			7,02
TOTAL D			3,44

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Precio (€/m ³)
(E1) ADECUADO	0,60	0,60	5,87
Rel. terraplén adicional (e _{max} =1,35)	0,75	0,75	4,50
Sobre-excavación desmonte (e _{min} =0,25)	0,35	0,35	2,35
TOTAL T			6,90
TOTAL D			4,34

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Precio (€/m ³)
(E2) S-EST 2	0,30	0,30	9,85
RIEGO CURADO		1	0,30
Rel. terraplén adicional (e _{max} =1,35)	1,05	1,05	4,50
Sobre-excavación desmonte (e _{min} =0,25)	0,05	0,05	2,35
TOTAL T			7,98
TOTAL D			3,37

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Precio (€/m ³)
(E2) SELECCIONADO (S TIPO 2)	0,75	0,75	6,60
Rel. terraplén adicional (e _{max} =1,35)	0,60	0,60	4,50
Sobre-excavación desmonte (e _{min} =0,25)	0,50	0,50	2,35
TOTAL T			7,65
TOTAL D			6,13

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Precio (€/m ³)
(E3) SELECCIONADO (S TIPO 3)	0,35	0,35	8,40
ADECUADO	1,00	1,00	5,87
Rel. terraplén adicional (e _{max} =1,35)	0,00	0,00	4,50
Sobre-excavación desmonte (e _{min} =0,25)	1,10	1,10	2,35
TOTAL T			8,81
TOTAL D			11,40

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Precio (€/m ³)
(E4) S-EST 3	0,30	0,30	11,54
RIEGO CURADO		1	0,30
ADECUADO	1,00	1,00	5,87
Rel. terraplén adicional (e _{max} =1,35)	0,05	0,05	4,50
Sobre-excavación desmonte (e _{min} =0,25)	0,05	0,05	2,35
TOTAL T			9,86
TOTAL D			9,75

FRME				
	Espesor inicial (m)	Incremento (m)	Espesor (m)	espesor total (m)
(E1) MB	0,15		0,15	0,42
SC	0,25	0,02	0,27	

	Espesor (m)	Volumen (m3)	Densidad (t/m ³)	Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
RODADURA	0,03	0,03	2,55	0,077	26,50	2,03
INTERMEDIA	0,05	0,05	2,40	0,120	26,44	3,17
BASE	0,07	0,07	2,35	0,165	26,47	4,35
BASE	0,00	0	2,35	0,000	26,47	0,00
BETUN ROD	4,75%			Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
BETUN INTERM	4,00%			0,004	530,00	1,93
BETUN BASE	4,00%			0,007	440,00	2,11
BETUN BASE	4,00%			0,007	440,00	2,90
BETUN BASE	4,00%			0,000	440,00	0,00
		Superf (m ²)			Precio (€/m ²)	Importe (€)
RIEGO ADH		1			0,22	0,22
RIEGO ADH		1			0,22	0,22
RIEGO ADH		0			0,22	0,00
RIEGO CURADO		1			0,30	0,30
	Espesor (m)	Volumen (m ³)			Precio (€/m ³)	
SUELOCEMENTO	0,27	0,27			27,04	7,30
TOTAL						24,53

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Precio (€/m ²)	Importe (€)
Rel. terraplén adicional (e _{max} =0,65)	0,23	0,23	4,50	1,04
Sobre-excavación desmonte (e _{min} =0,33)	0,09	0,09	2,35	0,21
TOTAL T				25,56
TOTAL D				24,74

FRME				
	Espesor inicial (m)	Incremento (m)	Espesor (m)	espesor total (m)
(E1) MB	0,23	0,02	0,25	0,65
ZA	0,40		0,40	

	Espesor (m)	Volumen (m3)	Densidad (t/m ³)	Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
RODADURA	0,03	0,03	2,55	0,077	26,50	2,03
INTERMEDIA	0,06	0,06	2,40	0,144	26,44	3,81
BASE	0,08	0,08	2,35	0,188	26,47	4,98
BASE	0,08	0,08	2,35	0,188	26,47	4,98
BETUN ROD	4,75%			Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
BETUN INTERM	4,00%			0,004	530,00	1,93
BETUN BASE	4,00%			0,008	440,00	2,53
BETUN BASE	4,00%			0,008	440,00	3,31
BETUN BASE	4,00%			0,008	440,00	3,31
		Superf (m ²)			Precio (€/m ²)	Importe (€)
RIEGO ADH		1			0,22	0,22
RIEGO ADH		1			0,22	0,22
RIEGO ADH		1			0,22	0,22
RIEGO IMPRIMACIÓN		1			0,43	0,43
	Espesor (m)	Volumen (m ³)			Precio (€/m ³)	
ZAHORRA ARTIFICIAL	0,40	0,40			18,19	7,28
TOTAL						35,23

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Precio (€/m ²)	Importe (€)
Rel. terraplén adicional (e _{max} =0,65)	0,00	0,00	4,50	0,00
Sobre-excavación desmonte (e _{min} =0,33)	0,32	0,32	2,35	0,75
TOTAL T				35,23
TOTAL D				35,98

	Espesor inicial (m)	Incremento (m)	Espesor (m)	Espesor total (m)
(E2) MB	0,16		0,16	0,40
SC	0,22	0,02	0,24	

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Densidad (t/m ³)	Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
RODADURA	0,03	0,03	2,55	0,077	26,50	2,03
INTERMEDIA	0,05	0,05	2,40	0,120	26,44	3,17
BASE	0,08	0,08	2,35	0,188	26,47	4,98
BASE	0,00	0	2,35	0,000	26,47	0,00
	% BETÚN			Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
BETÚN ROD	4,75%			0,004	530,00	1,93
BETÚN INTERM	4,00%			0,005	440,00	2,11
BETÚN BASE	4,00%			0,008	440,00	3,31
BETÚN BASE	4,00%			0,000	440,00	0,00
	Superf (m ²)				Precio (€/m ²)	Importe (€)
RIEGO ADH		1			0,22	0,22
RIEGO ADH		1			0,22	0,22
RIEGO ADH		0			0,22	0,00
RIEGO CURADO		1			0,30	0,30
	Espesor (m)	Volumen (m ³)			Precio (€/m ³)	Importe (€)
SUELOCEMENTO	0,24	0,24			27,04	6,49
TOTAL						24,75

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
Repl. terraplén adicional (e _{max} =0,65)	0,25	0,25		4,50	1,13
Sobre-excavación desmonte (e _{min} =0,33)	0,07	0,07		2,35	0,16

TOTAL T 25,88
TOTAL D 24,92

	Espesor inicial (m)	Incremento (m)	Espesor (m)	Espesor total (m)
(E2) MB	0,20	0,02	0,22	0,52
ZA	0,30		0,30	

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Densidad (t/m ³)	Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
RODADURA	0,03	0,03	2,55	0,077	26,50	2,03
INTERMEDIA	0,08	0,08	2,40	0,192	26,44	5,08
BASE	0,11	0,11	2,35	0,259	26,47	6,84
BASE	0,00	0	2,35	0,000	26,47	0,00
	% BETÚN			Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
BETÚN ROD	4,75%			0,004	530,00	1,93
BETÚN INTERM	4,00%			0,008	440,00	3,38
BETÚN BASE	4,00%			0,010	440,00	4,55
BETÚN BASE	4,00%			0,000	440,00	0,00
	Superf (m ²)				Precio (€/m ²)	Importe (€)
RIEGO ADH		1			0,22	0,22
RIEGO ADH		1			0,22	0,22
RIEGO ADH		0			0,22	0,00
RIEGO IMPRIMACIÓN		1			0,43	0,43
	Espesor (m)	Volumen (m ³)			Precio (€/m ³)	Importe (€)
ZAHORRA ARTIFICIAL	0,30	0,30			18,19	5,46
TOTAL						30,13

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
Repl. terraplén adicional (e _{max} =0,65)	0,13	0,13		4,50	0,59
Sobre-excavación desmonte (e _{min} =0,33)	0,19	0,19		2,35	0,45

TOTAL T 30,71
TOTAL D 30,57

	Espesor inicial (m)	Incremento (m)	Espesor (m)	Espesor total (m)
(E3) MB	0,14	0,02	0,16	0,46
ZA	0,30		0,30	

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Densidad (t/m ³)	Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
RODADURA	0,03	0,03	2,55	0,077	26,50	2,03
INTERMEDIA	0,05	0,05	2,40	0,120	26,44	3,17
BASE	0,08	0,08	2,35	0,188	26,47	4,98
BASE	0,00	0,00	2,35	0,000	26,47	0,00
	% BETÚN			Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
BETÚN ROD	4,75%			0,004	530,00	1,93
BETÚN INTERM	4,00%			0,005	440,00	2,11
BETÚN BASE	4,00%			0,008	440,00	3,31
BETÚN BASE	4,00%			0,000	440,00	0,00
	Superf (m ²)				Precio (€/m ²)	Importe (€)
RIEGO ADH		1			0,22	0,22
RIEGO ADH		1			0,22	0,22
RIEGO ADH		0			0,22	0,00
RIEGO IMPRIMACIÓN		1			0,43	0,43
	Espesor (m)	Volumen (m ³)			Precio (€/m ³)	Importe (€)
ZAHORRA ARTIFICIAL	0,30	0,30			18,19	5,46
TOTAL						23,85

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
Repl. terraplén adicional (e _{max} =0,65)	0,19	0,19		4,50	0,86
Sobre-excavación desmonte (e _{min} =0,33)	0,13	0,13		2,35	0,31

TOTAL T 24,71
TOTAL D 24,16

	Espesor inicial (m)	Incremento (m)	Espesor (m)	Espesor total (m)
(E4) MB	0,11		0,11	0,33
SC	0,20	0,02	0,22	

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Densidad (t/m ³)	Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
RODADURA	0,03	0,03	2,55	0,077	26,50	2,03
INTERMEDIA	0,08	0,08	2,40	0,192	26,44	5,08
BASE	0,00	0	2,35	0,000	26,47	0,00
BASE	0,00	0	2,35	0,000	26,47	0,00
	% BETÚN			Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
BETÚN ROD	4,75%			0,004	530,00	1,93
BETÚN INTERM	4,00%			0,008	440,00	3,38
BETÚN BASE	4,00%			0,000	440,00	0,00
BETÚN BASE	4,00%			0,000	440,00	0,00
	Superf (m ²)				Precio (€/m ²)	Importe (€)
RIEGO ADH		1			0,22	0,22
RIEGO ADH		0			0,22	0,00
RIEGO ADH		0			0,22	0,00
RIEGO CURADO		1			0,30	0,30
	Espesor (m)	Volumen (m ³)			Precio (€/m ³)	Importe (€)
SUELOCEMENTO	0,22	0,22			27,04	5,95
TOTAL						18,88

	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Peso (t)	Precio (€/t)	Importe (€)
Repl. terraplén adicional (e _{max} =0,65)	0,32	0,32		4,50	1,44
Sobre-excavación desmonte (e _{min} =0,33)	0,00	0,00		2,35	0,00

TOTAL T 20,32
TOTAL D 18,88