



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



ANEJO N°7

FIRMES

ESTUDIOS PARA LA REDACCIÓN DEL PROYECTO BÁSICO DE LA VARIANTE DE LA CARRETERA CV-35 A SU PASO POR EL MUNICIPIO DE CHELVA (PROVINCIA DE VALENCIA)
ALTERNATIVA NORTE



ANEJO 7: FIRMES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....2

2. CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO.....2

3. CATEGORÍA DE LA EXPLANADA.....3

4. SECCIONES DEL FIRME.....3

 4.1. Capa de base.....4

 4.2. Capa intermedia.....6

 4.3. Capa de rodadura.....7

 4.4. Riego de imprimación.....9

 4.5. Riego de adherencia.....9

5. PAQUETE DE FIRMES.....9

6. ARCENES.....9

7. DIMENSIONAMIENTO SEGÚN LA NORMA DE SECCIONES DE FIRME DE LA COMUNIDAD VALENCIANA.....10



1. INTRODUCCIÓN.

En el presente anejo se desarrolla el dimensionamiento del paquete de firmes a disponer en toda la variante, siguiendo la Norma 6.1 IC. Para el dimensionamiento del paquete de firmes dicha normativa se basa en el parámetro definido como “categoría del tráfico pesado”, asignando diferentes categorías en función de la intensidad media diaria de vehículos pesados en la zona objeto de estudio.

2. CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO.

A partir de los datos obtenidos mediante el aforo manual y el análisis de los datos obtenidos de estaciones de aforo catalogadas como afines, la IMD de vehículos pesados que se tomará como referencia en los cálculos será la esperada para el año 2021 correspondiente al año de puesta en servicio de la variante.

La obtención de los datos de tráfico para año de puesta en servicio y año horizonte se basa en los datos aforados manualmente, tanto de vehículos totales como exclusivamente ligeros. Con los datos aforados a la entrada y salida del municipio, conjuntamente con la el apoyo del análisis de matrículas aforadas, se obtuvo el esquema siguiente de flujos de paso. Este esquema tiene en cuenta el flujo que continuaría circulando por el núcleo urbano de Chelva y el flujo que utilizaría la variante, objetivo del estudio.

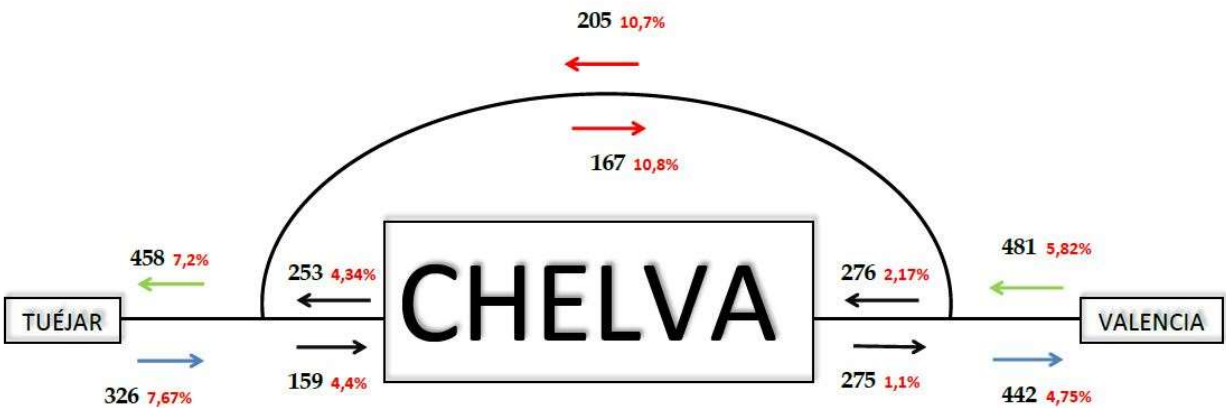


Figura 1. Esquema de flujos de tráfico obtenido desde el aforo manual (6h).
A partir de estos datos se puede obtener la estimación de tráfico de los años posteriores, siendo los más relevantes 2021, año de puesta en servicio de la variante, y 2041, año horizonte, para los cuales se desarrollan los cálculos apoyados en datos de la estación de aforo automática, la cual es afín.

De estos cálculos se obtiene que la IMDp para el año horizonte es 117 vehículos pesados por día. El análisis se realiza para ambos sentidos a la vez por lo que suponiendo una

distribución 60-40 que también se utilizará en el cálculo de nivel de servicio, la IMDp para la categorización del tráfico pesado es de 71 vehículos pesados por día. En caso de considerar distribución uniforme 50-50 sería 59 v/d/carril.

Según la tablas 1.A y 1.B de la Norma 6.1 IC, se definen distintas categorías de tráfico pesado en base a su intensidad media diaria:

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T00	T0	T1	T2
IMDp (vehículos pesados/día)	≥ 4 000	< 4 000 ≥ 2 000	< 2 000 ≥ 800	< 800 ≥ 200

Figura 2. Categorías de tráfico pesado T00 a T2

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T31	T32	T41	T42
IMDp (vehículos pesados/día)	< 200 ≥ 100	< 100 ≥ 50	< 50 ≥ 25	< 25

Figura 3. Categorías de tráfico pesado T3 y T4

La IMDp calculada para el año de puesta en servicio está contenida en la categoría de tráfico pesado T32.

No obstante, la mencionada norma establece que en aquellos lugares en los que se justifique una especial sobrecarga de los ejes de los vehículos pesados deberá considerarse la opción de adoptar la categoría de tráfico inmediatamente superior. Así mismo, también indica la norma que se podrá incrementar la categoría de tráfico pesado obtenida a la inmediatamente superior cuando en el trazado existan rampas con inclinaciones medias superiores al 5% (o al 3% si la longitud es superior a 500 m).

Los dos casos de excepción explicados por la Norma 6.1 IC son de aplicación en el caso actual, por lo que la categoría de tráfico pesado para la variante objeto de estudio en su alternativa norte es T31.



3. CATEGORÍA DE LA EXPLANADA.

La zona presenta terrenos de diferentes índoles, desde terrenos margosos con escaso módulo de compresibilidad al inicio y en diferentes tramos de la variante, hasta terrenos calizos o dolomíticos con grandes módulos de compresibilidad y posibilidad de realizar desmontes en ángulos verticales o subverticales.

La presencia de terrenos muy competentes en la traza de la variante puede ayudar a la elección de una explanada de categoría E3, pero ello implica un tratamiento del suelo en las zonas de terrenos más débiles.

Dado el alto grado de accidentabilidad geográfica en la traza de la variante, existen grandes desmontes, terraplenes y obras de paso que comportarán dificultades de ejecución en el caso de ser necesaria una estabilización o trato del suelo de terraplén. Por todo esto, finalmente la categoría de explanada escogida es E2.

En aquellos tramos de la variante proyectados con terraplén, este se realizará con un préstamo de suelo seleccionado, el cual se debe disponer, tal y como indica la siguiente figura, en un mínimo de un metro de espesor bajo el paquete de firmes para el caso de la explanada E2.

		TIPOS DE SUELOS DE LA EXPLANACIÓN (DESMONTES) O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (TERRAPLENES, PEDRAPLENES O RELLENOS TODO-UNO)				
		SUELOS INADECUADOS Y MARGINALES (IN)		SUELOS TOLERABLES (0)	SUELOS ADECUADOS (1)	SUELOS SELECCIONADOS (2) y (3)
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1 $E_{d2} \geq 60 \text{ MPa}$					
	E2 $E_{d2} \geq 120 \text{ MPa}$					
	E3 $E_{d2} \geq 300 \text{ MPa}$					

IN Suelo inadecuado o marginal (Art. 330 del PG-3)

0 Suelo tolerable (Art. 330 del PG-3)

1 Suelo adecuado (Art. 330 del PG-3)

2 Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)

3 Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)

S-EST 1 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

S-EST 2 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

S-EST 3 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

HM-20 Hormigón (Art. 610 del PG-3)

tipo de material

espesor mínimo en cm

espesor máximo en cm

suelo de explanación o de la obra de tierra subyacente

Figura 4. Formación de la explanada

4. SECCIONES DEL FIRME.

Con la categoría de explanada ya obtenida, la Norma 6.1 IC establece distintos paquetes de firme según el tipo de explanada y la categoría de tráfico pesada en la siguiente figura:

		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
		T31	T32	T41	T42
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1				
	E2				
	E3				

MB Mezclas bituminosas HF Hormigón de firme SC Suelocemento ZA Zahorra artificial

Espesores mínimos en cm

(1) Estas capas bituminosas podrán ser proyectadas con mezclas bituminosas en caliente muy flexibles, gravaemulsión sellada con un tratamiento superficial o mezcla bituminosa abierta en frío sellada con un tratamiento superficial.

Nota 1: Para las categorías de tráfico pesado T3 (T31 y T32) las capas tratadas con cemento deberán prefisurarse con espaciamientos de 3 a 4 m, de acuerdo con el artículo 513 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3).

Nota 2: En la categoría de tráfico pesado T42 con tráficos de intensidad reducida (menor que 100 vehículos/carril/día) podrá disponerse un riego con gravilla bicapa como sustitución de los 5 cm de mezcla bituminosa.

Figura 5. Catálogo de secciones de firme para categorías T31 a T42.

Entrando en la tabla sobre estas líneas con las categorías de explanada y de tráfico pesado, E2 y T31 respectivamente, se obtienen las siguientes opciones válidas para su aplicación en la variante:

E2	3121	3122	3124

Figura 6. Paquetes de firme válidos para explanada E2 y tráfico pesado de categoría T31.



De las tres opciones obtenidas, la primera a descartar es, por razones de suministro actual y de economía, el paquete de firmes con numeración 3124 correspondiente a 25 cm de zahorras y 21 cm de hormigón de firme, pues éste último ya no está en uso intensivo y su colocación resulta antieconómica. Además otras razones como la conservación específica de este tipo de firmes frente a los pavimentos bituminosos son más que suficientes para su descarte.

Por otra parte, el paquete de firmes con numeración 3122 se basa en una capa de suelocemento. Estos paquetes de firmes exigen un tratamiento de prefisuración que resulta rentable de ejecutar a partir de 7 km de longitud en tramos de carreteras desdobladas. Además, la ejecución de este tipo de capas exige una importante logística de camiones hormigonera o incluso la disposición de una central de producción de hormigón in situ, que ya no están justificadas, pues aunque el tramo a ejecutar roza los 7 km, se trata de una carretera de dos carriles y una plataforma, quedando descartado este paquete de firmes.

El paquete de firmes restante es el 3121, basado en una capa de zahorras bajo la capa de mezclas bituminosas, existen condicionantes a tener en cuenta de cara a su colocación, ya que el espesor total del mencionado paquete de firmes supera los 50 cm, encareciendo los desmontes al situar la base de la explanada más profunda respecto la capa de rodadura.

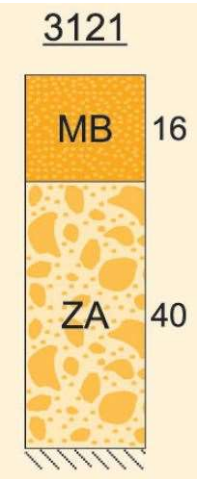


Figura 7. Paquete de firmes 3121.

Con todo esto, es más indicado tomar el paquete de firmes con numeración 3121 como el paquete a usar por su mayor facilidad de puesta en obra, al no necesitar tratamiento más allá de la compactación y disposición en tongadas correctas. La capa de zahorras se realizará en dos tongadas de 20 cm de espesor, mientras que a partir de la siguiente tabla de la Norma 6.1 IC se determinarán los espesores de las diferentes capas de mezcla bituminosa.

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		

Figura 8. Tabla espesores de capas de mezcla bituminosa en caliente.

4.1. Capa de base

Se consideran capas inferiores bituminosas tanto la capa intermedia como la capa de base. Dichas capas tienen un carácter fundamentalmente estructural. Dentro de esta definición la capa de base tiene mayor carácter estructural que la intermedia, mientras que ésta última además tiene la función de dar la regularidad superficial para la mejor disposición de las capas superiores de rodadura.

Así, las capas intermedias y de base conjuntamente tienen la función de absorber y resistir la mayor parte de las tensiones y transmitirlas a la explanada, todo ello sin presentar deformaciones permanentes.

Las mezclas bituminosas en la capa base podrán ser constituidas por una de estas capas según el artículo 542 del PG-3:

BASE	7-15 cm	AC32 BASE S
		AC22 BASE G
		AC32 BASE G
		AC22 BASE S MAM (hasta 13 cm de espesor)

Tabla 1. Espesores de las capas bituminosas en caliente para la capa de base.



Como se puede comprobar, la capa de base puede estar constituida por mezclas semidensas (AC32 BASE S) o gruesas (AC22 BASE G y AC32 BASE G). A causa del nivel de tráfico esperado en la variante no es recomendable ejecutar una mezcla bituminosa en capa de base de muy alto módulo, pues la reducción del espesor en la capa base que conlleva la ejecución de este tipo de mezclas debe ser justificada, siendo esta reducción inferior al veinte por ciento del espesor.

La decisión técnica versará sobre la densidad de la capa de base a ejecutar. Si bien una capa menos densa y con más índice de huecos puede parecer más ventajosa, las posibles pero puntuales heladas en la zona podrían hacer necesaria una capa más densa.

En cuanto a las mezclas semidensas (S) para capa de base presentan necesidad de un cuidado especial en su dosificación, pero gracias a esto permiten un mayor continuidad en la curva granulométrica, disminuyendo su índice de huecos y mejorando la resistencia a las deformaciones plásticas y a posibles heladas.

Las mezclas más usualmente dispuestas como capa de base son las mezclas gruesas (G), primando la poca cantidad de ligante y con un menor cuidado de la distribución granulométrica. Todo esto genera un mayor índice de huecos y mayor tendencia a la fisuración y aparición de grietas, pues estas son generadas por huecos interiores y una menor cantidad de betún que disminuye su resistencia a la fatiga. Además, las mezclas gruesas tienen menor capacidad de soporte, siendo indicadas las mezclas semidensas con mayor contenido en ligante para mejorar el comportamiento a fatiga, especialmente en el caso capas de base sobre materiales tratados con cemento.

Para el caso actual, teniendo en cuenta que se ha aumentado la categoría del tráfico pesado justificadamente por el esperable exceso de peso de los ejes de los vehículos pesados, el paquete de firmes asociado es de mayor categoría. De esta forma no es necesaria la disposición de una capa de base de mayor densidad, siendo suficiente con una capa de base de tipo grueso, concretamente la mezcla AC22 BASE G, que presenta un tamaño de áridos ligeramente menor que la AC32 BASE G en su fase más gruesa.

Siendo 16 los centímetros totales de espesor de las mezclas bituminosas en el paquete de firmes, la capa de base tendrá un espesor de 8 cm, ejecutado en una sola tongada del y con los usos granulométricos representados en la figura anterior.

Para la elección del ligante bituminoso y su dosificación en masa relacionada con la del polvo mineral debe tenerse en cuenta la zona térmica estival de la zona objeto de estudio, según la figura siguiente:

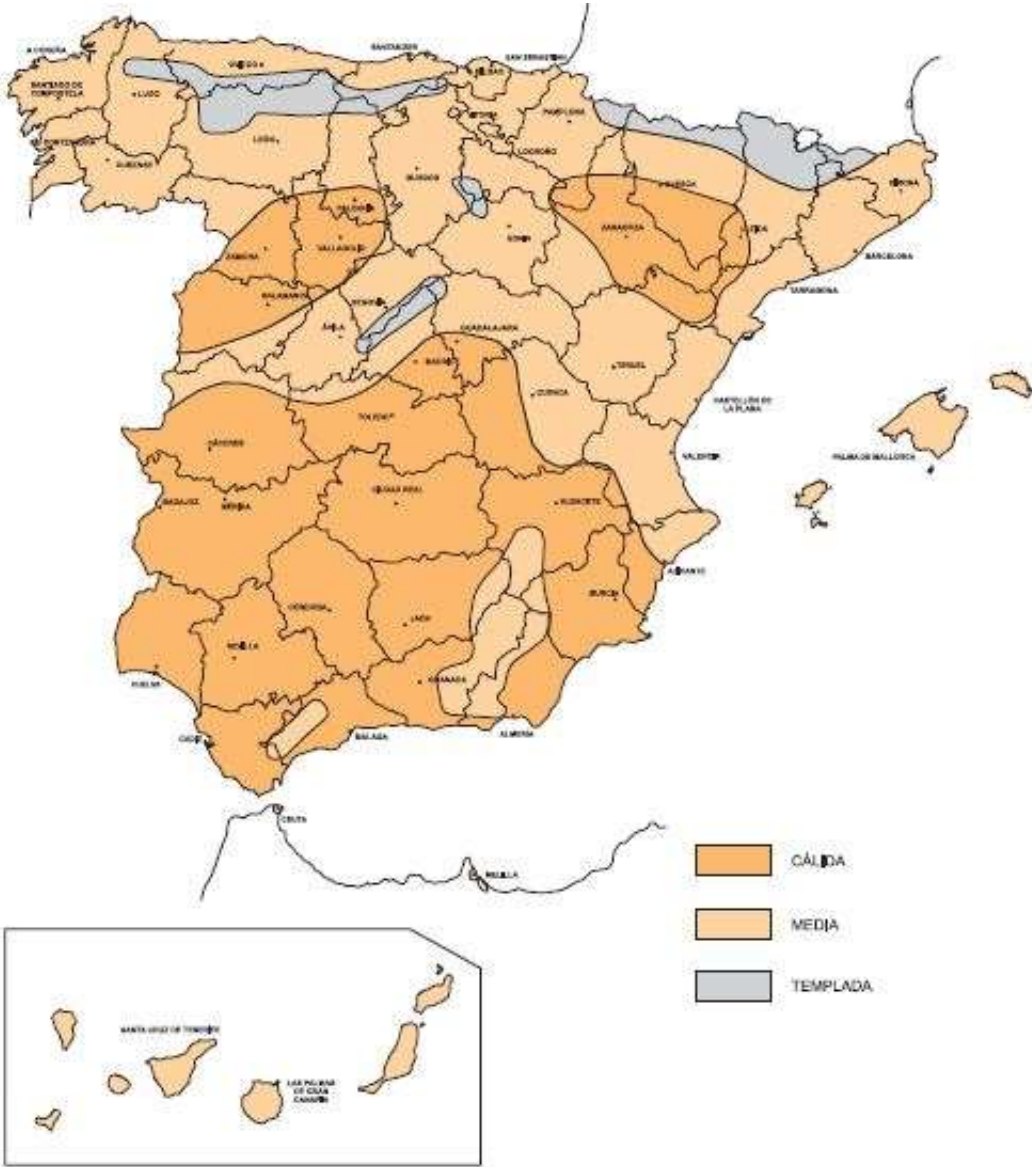


Figura 9. Zonas térmicas estivales.

Prácticamente toda la provincia de Valencia queda incluida en la zona térmica media según la Norma 6.1 IC, debiendo emplear los betunes para dicha clase térmica según lo

TIPO DE MEZCLA		ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)									
		45	32	22	16	8	4	2	0.5	0.25	0.063
Semi densa	AC32 S	100	90-100		68-82	48-63		24-38	11-21	4-15	3-7
	AC22 G		100	90-100	65-86	40-60		18-32	7-18	4-12	2-5
Gruesa	AC32 G	100	90-100		58-76	35-54		18-32	7-18	4-12	2-5

Tabla 2. Husos granulométricos de mezclas semidensas y gruesas.



dispuesto en el PG-3 para las distintas capas de firme, tal y como se muestra en la figura siguiente:

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

Figura 10. Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear en capa de base.

El betún indicado para el firme objeto de estudio es el 50/70, por su extendido uso en España. Situado en un punto medio de consistencia y reblandecimiento, se consiguen con esta mezcla pavimentos con adecuado comportamiento en casi todos los casos, siendo en todos ellos una solución que aporta estabilidad y flexibilidad. Además, este betún es adecuado también para las capas superiores como se indicará posteriormente, aportando uniformidad constructiva y sencillez a la constitución del firme.

Por otra parte, no se aprecian necesidades especiales en los betunes a utilizar como el uso de betunes modificados con caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso o el uso de betunes multigrados.

En cuanto a la dotación, esta sí es diferente según las diferentes capas del firme, siendo un 4% en masa del total de la mezcla bituminosa, incluyendo el polvo mineral, la dotación de ligante hidrocarbonado para la capa de base, tal y como se representa en la siguiente figura:

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	DOTACIÓN MÍNIMA (%)
RODADURA	densa y semidensa	4,50
INTERMEDIA	densa y semidensa	4,00
	alto módulo	4,50
BASE	semidensa y gruesa	4,00
	alto módulo	4,75

Figura 11. Dotación mínima de ligante hidrocarbonado.

4.2. Capa Intermedia

Tal y como se ha comentado al inicio del epígrafe anterior, tanto la capa intermedia como al capa de base presentan mayoritariamente función estructural, siendo la capa intermedia además encargada de la función regularizadora de la superficie para favorecer la mejor disposición del firme en su capa de rodadura.

Según el PG-3 en su epígrafe 542.3 las posibles mezclas a disponer en la capa intermedia se representan en la tabla siguiente:

INTERMEDIA	5-10 cm	AC22 BIN D
		AC22 BIN S
		AC32 BIN S
		AC 22 BIN S MAM (hasta 6 cm de espesor)

Tabla 3. Espesores de las capas bituminosas en caliente para la capa intermedia.

Por las mismas razones ya explicadas en el epígrafe anterior acerca de la capa de base se justifica que no es de aplicación en el caso actual una capa de muy alto módulo.

Por el contrario, en este caso las posibles mezclas a disponer son mezclas densas (D) o semidensas (S), no siendo posible mantener la mezcla usada en capa de base.

Las mezclas semidensas son indicadas para zonas de esperable tráfico pesado por su mayor resistencia ante las deformaciones plásticas, siendo especialmente relevantes las roderas. Además las mezclas densas exigen un mayor cuidado de su dosificación especialmente si su ejecución es llevada a cabo en zonas cálidas, y son más adecuadas con espesores de firme muy reducidos o para arcenes.



Por estos motivos la mezcla de aplicación en la capa intermedia será la AC22 bin S con un espesor de 6 cm, dispuesto en una sola tongada y con los husos granulométricos siguientes:

Tabla 4. Husos granulométricos para mezclas semidensas.

Para la elección del ligante bituminoso y su dosificación en masa relacionada con la del polvo se ha comprobado en el epígrafe referente a la capa de base que la zona térmica estival correspondiente a la zona objeto de estudio es la zona intermedia.

Los ligantes a utilizar en capas superiores difieren de los catalogados para la capa de base, aunque como se puede comprobar en la siguiente figura, será posible mantener el ligante utilizado en la capa de base:

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 45/80-60 PMB 45/80-65	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70 PMB 45/80-60	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 BC50/70	50/70 70/100 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	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	
TEMPLADA	50/70 BC50/70 PMB 45/80-60 PMB 45/80-65	50/70 70/100 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 70/100 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 70/100 BC50/70	50/70 70/100 BC50/70	

Figura 12. Ligantes hidrocarbonados a emplear en capa de rodadura e intermedia.

Entrando en la figura dispuesta sobre estas líneas, correspondiente a la tabla 542.1.a del PG-3 con la categoría del tráfico y la zona térmica estival, T31 y zona media respectivamente, los posibles betunes a utilizar contienen la mezcla 50/70 cuyos motivos para su elección se han enumerado en el epígrafe anterior, siendo dicha mezcla la óptima

para su empleo en la capa intermedia, dando uniformidad constructiva al firme como ya se indicó anteriormente.

No se aprecian necesidades especiales para el empleo de betunes con caucho

TIPO DE MEZCLA		ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)								
		45	32	22	16	8	4	2	0.5	0.25 0.06 3
Semi densa	AC22 S		100	90-100	70-88	50-66		24-38	11-21	7-15 3-7
	AC32 S	100	90-100		68-82	48-63		24-38	11-21	7-15 3-7

procedente de la trituración de los neumáticos fuera de uso.

La dotación mínima de ligante hidrocarbonado queda representada en la figura 10 dispuesta en el apartado anterior y se corresponde con la tabla 542.10 del PG-3. Como se puede comprobar y siendo la mezcla usada en la capa intermedia de tipo semidensa (S), la dotación mínima equivale al 4% en masa sobre el total de la mezcla bituminosa, incluyendo el polvo mineral.

4.3 Capa de rodadura.

Las capas de rodadura se encuentran en la parte superior del firme y conforman el contacto directo con los vehículos, además de sufrir la acción de los agentes atmosféricos. Entre sus funciones principales están:

- Seguridad en la rodadura: Deben proporcionar una buena adherencia en cualquier situación.
- Impermeabilidad: Deben impedir la penetración del agua superficial a las capas inferiores del firme y la explanada.
- Regularidad superficial: La superficie debe mantener unas características uniformes, si bien no corresponde exclusivamente a esta capa dicha función.
- Comodidad de circulación en cuanto a ruido, visibilidad nocturna o en lluvia.
- Estética: Un buen acabado se consigue a partir de superficies homogéneas y ricas en ligante.

Las capas de rodadura deben presentar buena resistencia a deformaciones plásticas, al envejecimiento y a la acción del agua y el hielo especialmente en zonas climáticas agresivas en este aspecto.

Según la Norma 6.1 IC las capas de rodadura de mezcla bituminosa pueden estar formadas por mezclas drenantes (PA), mezclas bituminosas discontinuas en caliente de tipo M (actualmente BBTM A) o F (actualmente BBTM B) o por una mezcla bituminosa en



caliente de tipo denso (D) o semidenso (S). Las limitaciones de uso según las categorías de tráfico pesado y el tipo de capa se establecen en la figura 7 del inicio del epígrafe referido a las secciones de firme.

Las mezclas drenantes son sólo de aplicación en carreteras sin problemas de nieve y con un régimen de lluvias suficiente que facilite su limpieza.

En zonas poco lluviosas pueden excepcionalmente proyectarse mezclas drenantes siempre y cuando la pendiente longitudinal sea inferior al 1.5 %, en una longitud de mezcla drenante no inferior a 500 metros.

En la siguiente figura se muestran las zonas pluviométricas que la Norma 6.1 IC considera como lluviosas o poco lluviosas según el Instituto Nacional de Meteorología.

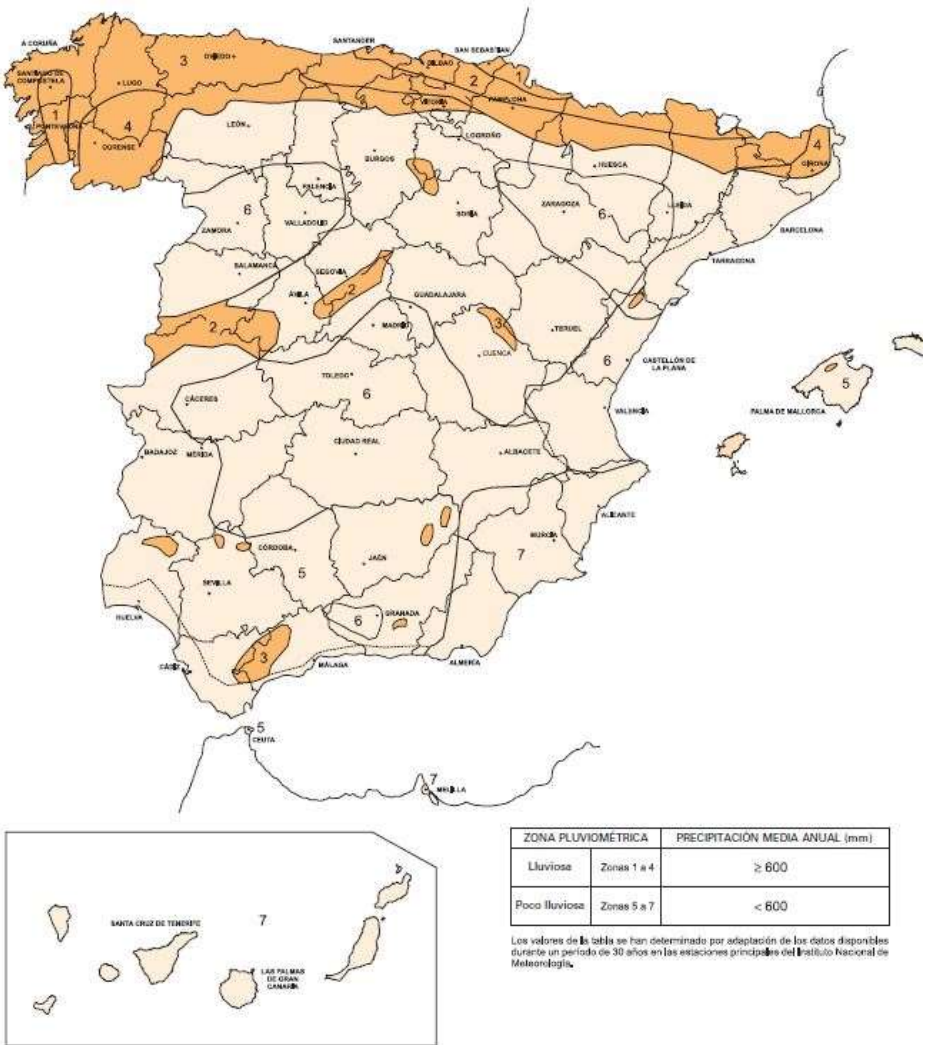


Figura 13. Zonas pluviométricas.

De esta forma, quedan totalmente desaconsejadas las mezclas drenantes puesto que la zona pluviométrica del lugar objeto de estudio se corresponde con una zona poco lluviosa. Además, la pendiente de la vía proyectada supera el mencionado anteriormente como excepción en caso zonas influenciadas por lluvias cortas pero intensas.

Por tanto, teniendo en cuenta que el paquete de firmes seleccionado otorga 16 cm de espesor a las capas correspondientes a las mezclas bituminosas, es posible el uso de mezclas discontinuas en la capa de rodadura por su pequeño espesor.

Las mezclas discontinuas en caliente son mezclas con altos contenidos en betún con notable resistencia ante deformaciones plásticas y compactables en capas relativamente finas. Su acabado consigue una gran textura y mantiene la durabilidad por el alto contenido en betún, aunque eso encarece el precio frente a mezclas bituminosas en caliente de tipo denso (D) o semidenso (S) utilizadas en las capas de base e intermedia.

Por último, cabe añadir que estas mezclas presentan ciertos rasgos de las mezclas drenantes; su macrotextura facilita el drenaje y su sonoridad es reducida frente a las mezclas convencionales.

Las posibles mezclas bituminosas discontinuas a utilizar en la capa de rodadura se representan en la figura siguiente junto con sus husos granulométricos, correspondiente a la tabla 543.8 del PG-3:

TIPO DE MEZCLA (**)	ABERTURA DE LOS TAMICES. NORMA UNE-EN 933-2 (mm)							
	22	16	11,2	8	5,6	4	2	0,5
BBTM 8B (*)			100	90-100	42-62	17-27	15-25	8-16
BBTM 11B (*)		100	90-100	60-80		17-27	15-25	8-16
BBTM 8A (*)			100	90-100	50-70	28-38	25-35	12-22
BBTM 11A (*)		100	90-100	62-82		28-38	25-35	12-22

Figura 14. Husos granulométricos de las mezclas bituminosas discontinuas.

Las mezclas BBTM B son mezclas abiertas con un porcentaje de huecos elevado, mientras que las mezclas BBTM A son mezclas más cerradas, con un menor porcentaje de huecos. Para conseguir la discontinuidad se la fracción del árido que pasa por el tamiz 4 mm y es retenida por el tamiz 2 mm debe ser inferior al 8 por ciento.

Teniendo en cuenta las posibles aunque poco frecuentes heladas en la zona objeto de estudio, la mezcla bituminosa más idónea para su aplicación será aquella con menor porcentaje de huecos, mejorando así su resistencia ante la acción del hielo. Finalmente la mezcla BBTM 8A es la mezcla proyectada para la capa de rodadura, dispuesta en una



sola tongada de 2 cm, completando así los 16 cm de mezclas bituminosas y el paquete de firmes.

En cuanto al ligante, el PG-3 establece los siguientes betunes para su uso en mezclas bituminosas discontinuas según la categoría de tráfico pesado.

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	

Figura 15. Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear en mezclas discontinuas y drenantes. Según la figura sobre estas líneas, correspondiente con la tabla 543.1 del PG-3, para mezclas discontinuas y categoría de tráfico pesado T31 los ligantes hidrocarbonados a utilizar son PMB 45/80-60, 50/70 y BC50/70. Bajo los mismos criterios en la elección de los ligantes en las capas inferiores anteriormente enumerados y por uniformidad constructiva, el ligante proyectado para la capa de rodadura será 50/70, manteniendo el mismo ligante para todas las capas de mezcla bituminosa.

4.4. Riego de imprimación.

La Norma 6.1 IC establece que sobre cada capa granular que reciba una capa de mezcla bituminosa debe efectuarse un riego de imprimación según las condiciones del artículo 530 del PG-3.

La emulsión bituminosa a emplear será la denominada C50BF4 IMP. En cuanto a la dotación de emulsión, esta dependerá de la capacidad de absorción de la capa subyacente, en este caso las zahorras, y nunca será inferior a 500 g/m². No será necesaria la disposición de árido de cobertura sobre las zahorras.

4.5. Riego de adherencia.

La Norma 6.1 IC establece la obligatoriedad de efectuar de forma previa un riego de adherencia sobre las capas de materiales tratados con cemento y las capas de mezcla

bituminosa en que vayan a recibir una capa de mezcla bituminosa, según las condiciones del artículo 531 del PG-3.

Como las circunstancias del proyecto no exceden de la normalidad, la emulsión para el riego de adherencia no convendrá proyectarla con emulsiones modificadas, por lo que será idónea la emulsión bituminosa convencional C60B3 ADH. La dotación de dicha emulsión no deberá ser inferior a 200 g/m² en el riego de adherencia a realizar sobre la capa base de firme. No obstante, al ser la capa de rodadura una mezcla bituminosa discontinua en caliente la dotación en el riego de adherencia subyacente no deberá ser inferior a 250 g/m², manteniendo el tipo de emulsión a utilizar.

5. PAQUETE DE FIRMES.

A continuación se dispone en la siguiente tabla un resumen del paquete de firmes a disponer, siguiendo la estructura de la sección obtenida de la Norma 6.1 IC:

Material de la capa	Espesor
BBTM 8A	2 cm
Riego de adherencia C60B3 ADH (> 250 g/m ²)	
AC22 bin S	6 cm
Riego de adherencia C60B3 ADH (>200 g/m ²)	
AC22 base G	8 cm
Riego de imprimación C50BF4 IMP (> 500 g/m ²)	
Zahorras	40 cm

Tabla 5. Resumen del paquete de firme y riegos de adherencia e imprimación.

Los ligantes a aplicar para todas las capas de firme asfáltico son 50/70 en una dosificación del 4.5% referido a la masa del total de la mezcla, mientras que el polvo mineral se dosifica en un 2% referido a la masa del total de la mezcla.

6. ARCENES.

La Norma 6.1 IC establece los siguientes criterios en cuanto al paquete de firmes correspondiente a la sección de los arcenes:

En calzadas cuyas categorías de tráfico pesado sean T2 o T31 y estén proyectadas con pavimento de mezcla bituminosa en caliente el pavimento del arcén constará de una capa mezcla bituminosa del mismo espesor que la capa de rodadura del firme de la calzada. En



caso de mezclas discontinuas en caliente, correspondientes al firme proyectado en la variante objeto de estudio, las capas intermedia y de rodadura coincidirán con las del firme de la calzada. A continuación, debajo del firme se debe rellenar con zahorra artificial hasta alcanzar la explanada, siempre cumpliendo las limitaciones máximas en cuanto a espesor de las tongadas.

Con estas condiciones impuestas por la normativa, el paquete de firmes para los arcenes consistirá en las capas BBTM 8A de 2 centímetros de espesor y AC22 bin S de 6 cm de espesor, correspondientes a capa de rodadura e intermedia del firme de la calzada, respectivamente. A continuación se deben rellenar 48 cm de zahorra artificial, pero su ejecución debe dividirse en dos tongadas de 24 cm para una mejor nivelación y puesta en obra.

7. DIMENSIONAMIENTO SEGÚN LA NORMA DE SECCIONES DE FIRME DE LA COMUNIDAD VALENCIANA.

Con este nuevo dimensionamiento se pretende dar un enfoque más local desde el punto de vista de la normativa, puesto que en ella se distinguen las zonas climáticas y pluviométricas de forma más concreta puesto que el ámbito de aplicación es la Comunidad Valenciana. Aunque este dimensionamiento tiene un carácter comparativo, por lo que no será el finalmente proyectado.

Para ello, tomando base en la categoría de tráfico pesado correspondiente en la Norma 6.1 IC, T31, se comprueba que esta es equivalente en la norma valenciana a través de la siguiente figura:

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T00	T0	T1	T21	T22	T31	T32	T41	T42
IMD _p	≥ 4.000	< 4.000 ≥ 2.000	< 2.000 ≥ 800	< 800 ≥ 500	< 500 ≥ 200	< 200 ≥ 100	< 100 ≥ 50	< 50 ≥ 20	< 20

Figura 16. Categorías de tráfico pesado según la IMDp.

La explanada se seguirá tomando E2 bajo los mismos criterios que en el seguimiento de la normativa nacional.

La Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana establece distintas zonas térmicas y pluviométricas, las cuales se muestran en las siguientes figuras:

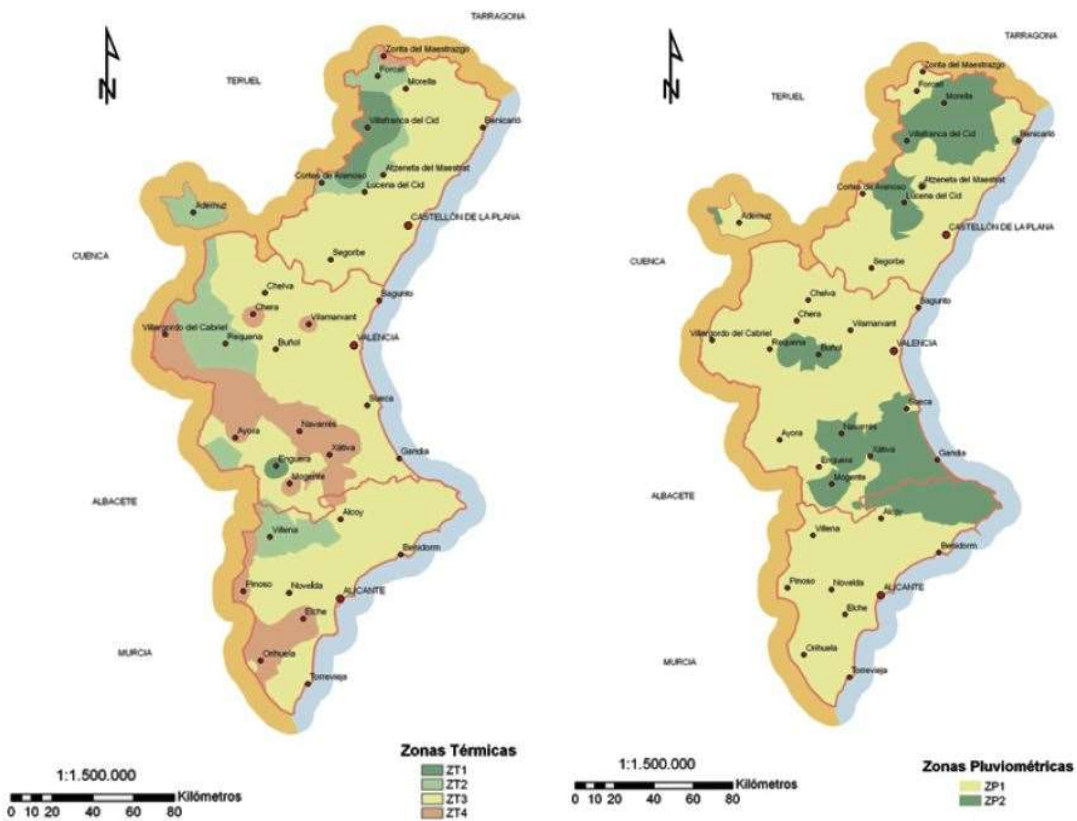


Figura 17. Zonas térmicas y pluviométricas de la C.V.

Las distintas zonas pluviométricas de la Comunidad Valenciana llevan asociados valores modificadores que se utilizan en el cálculo del tipo de mezcla a usar en los firmes.

El catálogo de firmes presente en la mencionada norma difiere del que dispone la Norma 6.1 IC, aunque son evidentes las similitudes entre los posibles paquetes de firme contemplados.

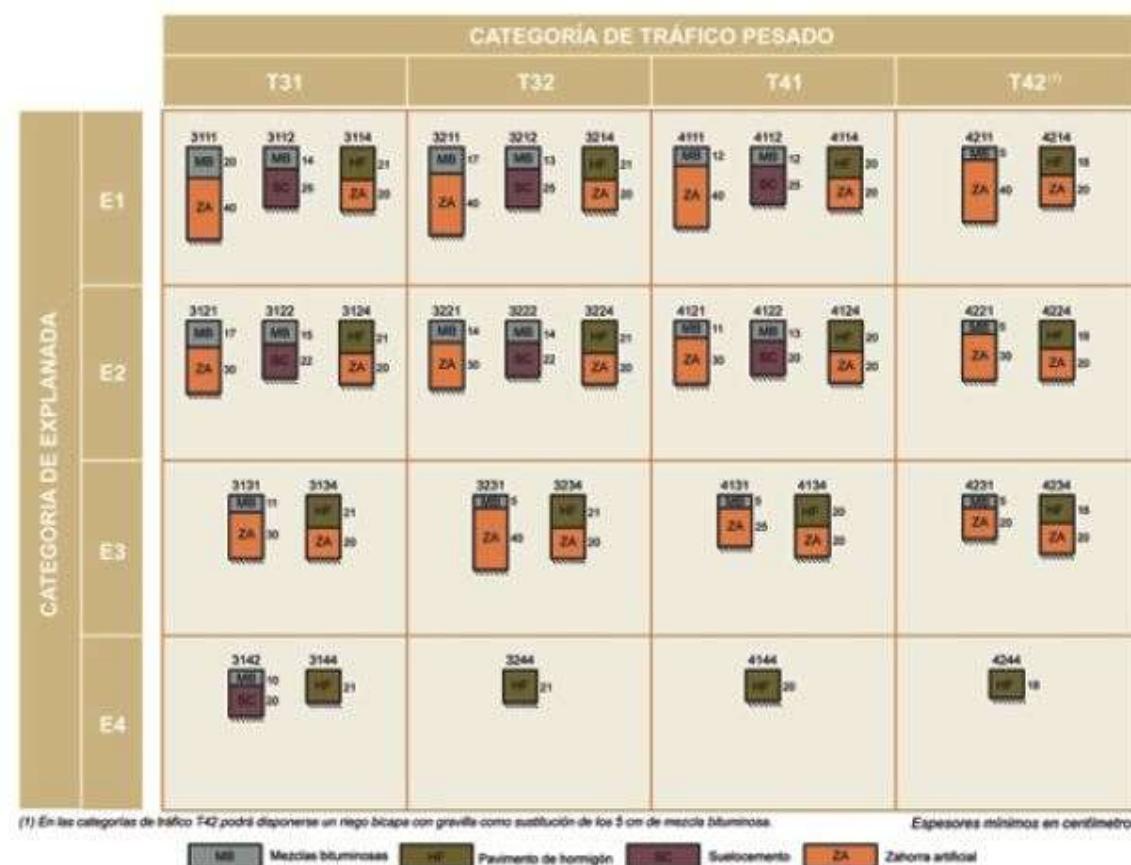


Figura 20. Paquete de firmes 3121.

No obstante, el paquete de firmes óptimo según la Norma 6.1 IC presenta mayor espesor de zahorras, 40 cm, y 1 cm menor en cuanto al espesor de las mezclas bituminosas.

La disposición de las zahorras es más favorable en el paquete de firmes seleccionado según la Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana, pues permite su disposición en una sola tongada de 30 cm.

En cuanto a las mezclas bituminosas, la norma valenciana establece las siguientes opciones según la capa:

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			
	AC 22 surf D		5-6	5
	AC 16 surf S			
Intermedia	AC 22 surf S			
	AC 22 bin D			
	AC 22 bin S			
	AC 32 bin S			
	AC 22 bin G ⁽²⁾			
Base	AC 32 bin G ⁽²⁾			
	AC 22 bin 15/25 AM	7-13		
	AC 32 base S			
	AC 22 base G			
	AC 32 base G			

Figura 21. Mezclas bituminosas y sus espesores según capas.

Para el cálculo de las mezclas bituminosas a proyectar la norma establece criterios basados en las zonas térmicas y pluviométricas. En el caso de Chelva, las zonas son ZT3 y ZP1, respectivamente. Estos factores condicionan el tipo de mezcla bituminosa en caliente a utilizar, pues la temperatura afecta su puesta en obra y en consecuencia limita sus posibilidades de uso.

Figura 18. Catálogo de secciones de firme para categorías de tráfico pesado T31 a T42.

Entrando en el catálogo dispuesto sobre estas líneas con las categorías de explanada y de tráfico pesado, E2 y T31 respectivamente, se obtienen las siguientes opciones válidas para su aplicación en la variante:

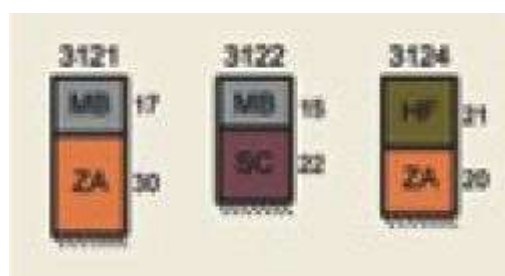


Figura 19. Paquetes de firme válidos para explanada E2 y tráfico pesado de categoría T31

Por las mismas razones expuestas en durante el cálculo del firme según la Norma 6.1 IC, tanto el pavimento de hormigón como el consistente en mezclas bituminosas y suelocemento, secciones 3124 y 3122 respectivamente, quedan descartadas.

La sección resultante, por tanto es muy similar a la obtenida con el cálculo según la normativa nacional.



Para ello, se establece un módulo elástico de cálculo el cual está afectado por los valores correctores según las zonas térmica y pluviométrica. La mezcla bituminosa en caliente utilizada debe tener un módulo elástico de cálculo entre los valores umbral definidos en la siguiente figura:

TIPO	E_{min} [MPa]	E_{max} [MPa]	E_{MED} [MPa]	ν	a	b
BBTM 11 B M BBTM 8 B M	2.500	3.250	3.000	0,35	-	-
BBTM 11 A F BBTM 8 A F	4.000	5.250	5.000	0,35	-	-
PA 11	2.500	3.250	3.000	0,35	-	-
AC 16 surf D AC 22 surf D AC 22 bin D	3.500	9.500	7.000	0,33	$6,920 \cdot 10^{-3}$	0,27243
AC 16 surf S AC 22 surf S AC 22 bin S AC 32 bin S	3.500	9.500	7.000	0,33	$6,920 \cdot 10^{-3}$	0,27243
AC 22 bin G AC 32 bin G AC 22 base G AC 32 base G	2.500	7.000	5.000	0,33	$6,443 \cdot 10^{-3}$	0,27243
AC 22 bin 15/25 AM AC 22 base 15/25 AM	10.000	14.000	11.000	0,30	$6,612 \cdot 10^{-3}$	0,27243

Figura 22. Características mecánicas de las mezclas bituminosas.

De este modo, el módulo elástico de cálculo se obtiene de la siguiente forma según la normativa valenciana:

$$E_{CÁLCULO} = E_{MED} * \gamma_{ZT} * \gamma_{Hz}$$

Siendo:

E_{MED} = Valor medio del módulo elástico.

γ_{ZT} = Corrector correspondiente a la zona térmica en el lugar de aplicación

γ_{Hz} = Corrector correspondiente a la frecuencia de carga en la puesta en obra.

Los valores de los correctores se obtienen de las tablas mostradas en la figura siguiente:

ZONA TÉRMICA	γ_{ZT}	FRECUENCIA [Hz]	γ_{Hz}
ZT1	1,25	10,0	1,00
ZT2	1,00	6,5	0,85
ZT3	0,80		
ZT4	0,75		

Figura 23. Tablas de valores para los correctores γ_{ZT} y γ_{Hz} .

Para el caso actual, los valores son, respectivamente, 5000 Mpa, 0.80 y 1, resultando un módulo elástico de cálculo de 4000 Mpa, el cual se corresponde justamente con el mínimo de los admitidos para la capa bituminosa de aplicación, BBTM 8A, por lo que el paquete de firmes escogido según el criterio de la Norma 6.1 IC es también válido para la normativa valenciana, pero con algunas leves variaciones.

En cuanto al ligante, para la categoría de tráfico pesado y la zona térmica del caso de la variante la normativa valenciana propone exclusivamente el ligante 50/70 en todas las capas, como se puede comprobar en las siguientes figuras, siendo el mismo ligante también apto para los arcenes:

ZONA TÉRMICA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00 a T21	T21	T22 a T32	T41 y T42	Arcenes
ZT1, ZT2, ZT3	50/70 PMB 25/55-65 PMB 45/80-65	35/50 50/70 PMB 45/80-60b	50/70 PMB 45/80-60b	50/70	50/70

Figura 24. Ligantes a disponer según categoría de tráfico pesado y zona térmica. Capa de rodadura.

ZONA TÉRMICA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
	T00 y T0	T1 y T21	T22 a T32
ZT1, ZT2, ZT3	50/70 PMB 25/55-65	50/70	50/70

Figura 25. Ligantes a disponer según categoría de tráfico pesado y zona térmica. Capas inferiores.

Siendo que los riegos de adherencia e imprimación son idénticos a los elegidos en el anterior proceso, puesto que la normativa a seguir en su elección es el PG-3, el resumen del paquete de firmes obtenido según la normativa valenciana se muestra en la tabla siguiente:



Material de la capa	Espesor
BBTM 8A	2 cm
Riego de adherencia C60B3 ADH (> 250 g/m2)	
AC22 bin S	6 cm
Riego de adherencia C60B3 ADH (>200 g/m2)	
AC22 base G	9 cm
Riego de imprimación C50BF4 IMP (> 500 g/m2)	
Zahorras	30 cm

Tabla 6. Resumen del paquete de firme y riegos de adherencia e imprimación.

Los espesores de las capas de rodadura e intermedia se fijan con los valores dispuestos en la figura 20 del presente anejo, siendo además idénticos a los valores proyectados según el criterio de la Norma 3.1 IC. Por el contrario, el espesor de la capa de base es un centímetro superior en este caso a causa del centímetro de más que la normativa valenciana considera para las capas de mezcla bituminosa.



BIBLIOGRAFÍA

- España. ORDEN FOM/3460/2003, de 28 de noviembre, por la que se aprueba la norma 6.1-IC "Secciones de firme", de la Instrucción de Carreteras. Boletín Oficial del Estado, 12 de diciembre de 2003, núm. 297, p. 44275 y ss.
- Comunitat Valenciana. Direcció General d'Obres Públiques. Norma de secciones de firme de la Comunidad Valenciana. Generalitat Valenciana. 2009
- España. Orden FOM/273/2016, de 19 de febrero, por la que se aprueba la Norma 3.1- IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras. Boletín Oficial del Estado, 4 de marzo de 2016, núm. 55, p. 17657.