

Estudio de mejora de la seguridad vial en la conexión de la A-31 con la CV-656
TM. de Caudete (Albacete) y Villena (Alicante)



ANEJO Nº 7
DIMENSIONAMIENTO DE
FIRMES





ÍNDICE

1. OBJETO

2. DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES

2.1. NORMATIVA APLICADA

2.2. FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO

2.2.1 TRÁFICO PESADO

2.2.2 EXPLANADA

2.3 TIPOLOGÍA Y SECCIÓN DEL FIRME

2.4 MEZCLAS BITUMINOSAS

2.4.1 ÁRIDO

2.4.2 DESIGNACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS

2.5 SECCIÓN ESTRUCTURAL DEL FIRME

3. VALORACIÓN ECONÓMICA



1. OBJETO

El presente anejo pretende definir y justificar en función del tráfico pesado y la categoría de explanada existente la sección del firme. Con el objetivo de que los espesores y materiales de las diferentes capas proyectadas se adecuen a la situación prevista

2. DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES

2.1 NORMATIVA APLICADA

Se ha seguido las especificaciones de la instrucción española 6.1- IC Secciones de firme para carreteras, elaborada por el Ministerio de Fomento. Dicha norma presenta un catálogo de secciones de firme constatado empíricamente.

2.2 FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO

2.2.1 TRÁFICO PESADO

La sección del firme depende de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) que se prevea para el año de puesta en servicio. De tal forma se ha especificado en el anejo Estudio de tráfico.

El valor calculado como IMD de pesado para el año 2020 de puesta en servicio pertenece al rango de la categoría de tráfico pesado T32, como se puede apreciar:

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

2.2.2 EXPLANADA

Para dimensionar un firme es necesario conocer el tráfico pesado junto con la categoría de la explanada, que dependerá de la calidad del terreno que presente la zona de la actuación

La calidad de los materiales queda definida mediante ensayos de laboratorio que permiten la identificación de los suelos.

La definición exacta del tipo de la explanada se determina según el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga, mediante “Ensayo de carga con placa”, que evidentemente por falta de recursos técnicos y económicos no contamos con dicho ensayo. De modo que se ha recurrido, por su cercanía, a



ANEJO Nº: 7 DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES

las muestras y ensayos de laboratorio del proyecto “Autovía A-33 Cieza-La Font de la Figuera” tramo A-31-A35 (La Font de la Figuera) dentro del anejo estudio Geotécnico del Corredor.

Analizando la información disponible, se ha concluido en el anejo geológico y de geotecnia, una categoría de explanada E3, dentro del epígrafe “clasificación de la explanada”.

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

Como suelo tolerable, podemos afirmar que cumple las siguientes prescripciones complementarias:

- CBR mayor o igual a 3
- Contenido en materia orgánica menor del 1%
- Contenido en sulfatos solubles menor del 1%
- Hinchamiento libre menor del 1 %

2.3 TIPOLOGIA Y SECCION DEL FIRME

Se adopta un firme flexible, al igual que lo poseen las carreteras adyacentes, descartándose una sección de firme rígido debido a su mayor complicación constructiva.

Para cada combinación de categorías de tráfico pesado y de explanada, la Instrucción establece varios tipos de secciones, en nuestro caso hay tres posibles soluciones, optando por la más adecuada técnica y económicamente. La designación para cada sección del firme está compuesta por tres o cuatro cifras:

- Los dos primeros números corresponden a la categoría del tráfico pesado, en nuestro caso 32
- La penúltima cifra expresa la categoría de la explanada (E3)
- La ultima hace referencia al tipo de firme, con el siguiente criterio:
 - 1: Mezcla bituminosas sobre capa granular.
 - 2: Mezcla bituminosa sobre suelocemento.
 - 3: Mezcla bituminosa sobre gravacemento y sobre suelo cemento.
 - 4: Pavimento de hormigón.

A su vez, las mezclas bituminosas se dividen en tres capas:

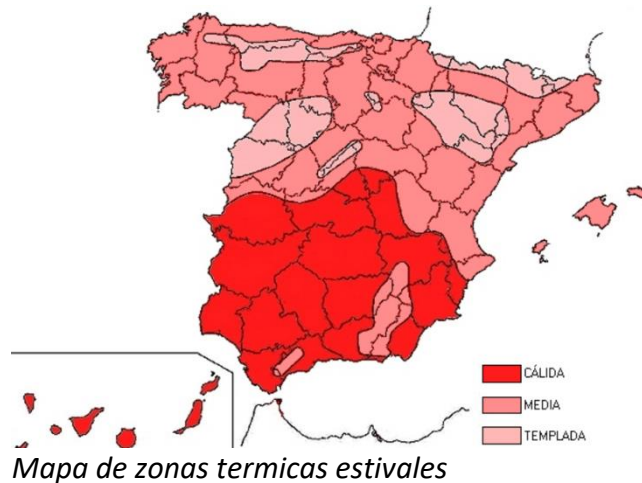
- Rodadura
- Intermedia
- Base



ANEJO Nº: 7 DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES

El dimensionamiento de estas subcapas viene determinado por los siguientes factores:

- La zona térmica estival a la que pertenece la obra. En nuestro caso es limítrofe entre la cálida y la media



		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO											
		T31			T32			T41			T42		
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	<div>3111</div> <div><div>MB</div><div>20</div></div> <div><div>ZA</div><div>40</div></div>	<div>3112</div> <div><div>MB</div><div>15</div></div> <div><div>SC</div><div>30</div></div>	<div>3114</div> <div><div>HF</div><div>21</div></div> <div><div>ZA</div><div>30</div></div>	<div>3211</div> <div><div>MB</div><div>18</div></div> <div><div>ZA</div><div>40</div></div>	<div>3212</div> <div><div>MB</div><div>12</div></div> <div><div>SC</div><div>30</div></div>	<div>3214</div> <div><div>HF</div><div>21</div></div> <div><div>ZA</div><div>20</div></div>	<div>4111</div> <div><div>MB</div><div>10¹</div></div> <div><div>ZA</div><div>40</div></div>	<div>4112</div> <div><div>MB</div><div>8</div></div> <div><div>SC</div><div>30</div></div>	<div>4114</div> <div><div>HF</div><div>20</div></div> <div><div>ZA</div><div>20</div></div>	<div>4211</div> <div><div>MB</div><div>5¹</div></div> <div><div>ZA</div><div>35</div></div>	<div>4212</div> <div><div>MB</div><div>5</div></div> <div><div>SC</div><div>25</div></div>	<div>4214</div> <div><div>HF</div><div>18</div></div> <div><div>ZA</div><div>20</div></div>
	E2	<div>3121</div> <div><div>MB</div><div>16</div></div> <div><div>ZA</div><div>40</div></div>	<div>3122</div> <div><div>MB</div><div>12</div></div> <div><div>SC</div><div>30</div></div>	<div>3124</div> <div><div>HF</div><div>21</div></div> <div><div>ZA</div><div>25</div></div>	<div>3221</div> <div><div>MB</div><div>15</div></div> <div><div>ZA</div><div>35</div></div>	<div>3222</div> <div><div>MB</div><div>10</div></div> <div><div>SC</div><div>30</div></div>	<div>3224</div> <div><div>HF</div><div>21</div></div> <div><div>ZA</div><div>20</div></div>	<div>4121</div> <div><div>MB</div><div>10¹</div></div> <div><div>ZA</div><div>30</div></div>	<div>4122</div> <div><div>MB</div><div>8</div></div> <div><div>SC</div><div>25</div></div>	<div>4124</div> <div><div>HF</div><div>20</div></div>	<div>4221</div> <div><div>MB</div><div>5¹</div></div> <div><div>ZA</div><div>25</div></div>	<div>4222</div> <div><div>MB</div><div>5</div></div> <div><div>SC</div><div>22</div></div>	<div>4224</div> <div><div>HF</div><div>18</div></div>
	E3	<div>3131</div> <div><div>MB</div><div>16</div></div> <div><div>ZA</div><div>25</div></div>	<div>3132</div> <div><div>MB</div><div>12</div></div> <div><div>SC</div><div>22</div></div>	<div>3134</div> <div><div>HF</div><div>21</div></div> <div><div>ZA</div><div>20</div></div>	<div>3231</div> <div><div>MB</div><div>15</div></div> <div><div>ZA</div><div>20</div></div>	<div>3232</div> <div><div>MB</div><div>10</div></div> <div><div>SC</div><div>22</div></div>	<div>3234</div> <div><div>HF</div><div>21</div></div>	<div>4131</div> <div><div>MB</div><div>10¹</div></div> <div><div>ZA</div><div>20</div></div>	<div>4132</div> <div><div>MB</div><div>8</div></div> <div><div>SC</div><div>20</div></div>	<div>4134</div> <div><div>HF</div><div>20</div></div>	<div>4231</div> <div><div>MB</div><div>5¹</div></div> <div><div>ZA</div><div>20</div></div>	<div>4232</div> <div><div>MB</div><div>5</div></div> <div><div>SC</div><div>20</div></div>	<div>4234</div> <div><div>HF</div><div>18</div></div>

MB

 Mezclas bituminosas

HF

 Hormigón de firme

SC

 Suelocemento

ZA

 Zahorra artificial

(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.


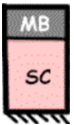

Nota 1: Para las categorías de tráfico pesado T3 (T31 y T32) las capas tratadas con cemento deberán prefisurarse con espaciamientos de 3 a 4 m, de acuerdo con el artículo 513 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3).

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 grava bicapa como sustitución de los 5 cm de mezcla bituminosa.

FIGURA 2.2. CATÁLOGO DE SECCIONES DE FIRME PARA LAS CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T3 (T31 y T32) y T4 (T41 y T42), EN FUNCIÓN DE LA CATEGORÍA DE EXPLANADA

A modo de resumen, en el siguiente cuadro se muestran las distintas opciones de configuración del firme según el coste:



E3 T32	3231		15 20
	3232		10 22
	3234		21

Para la elección de uno de los paquetes de firmes, se optará por el criterio económico, siendo el de menor coste el elegido.

2.4 MEZCLA BITUMINOSAS

Compuestas por aglomerado asfáltico (AC) de árido, filler y ligante, denominándose filler al polvo mineral ($<0,063$ mm).

- a) Tipos de mezclas bituminosas:
 - a. Mezclas en calientes:
 - i. Convencionales: Densa (D), Semidensa (S), Gruesa (G)
 - ii. Discontinuas: BBTM (antiguas M o F)
 - iii. Drenantes: PA
 - iv. De alto modulo: MAM
 - v. Recicladas: REC
 - b. Mezclas en frio
 - i. Abiertas en frio: AF
 - ii. Alquitrane: BQ
 - iii. Betunes asfálticos modificados: RC, MC
 - iv. Emulsiones asfálticas: EAM, ECM, ECL

El tipo de ligante hidrocarbonado a emplear lo especifica el PG-3 y depende de la capa de mezcla bituminosa (rodadura, intermedia y base), de la zona térmica estival en que se encuentre y de la categoría de tráfico pesado.



ANEJO Nº: 7 DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES

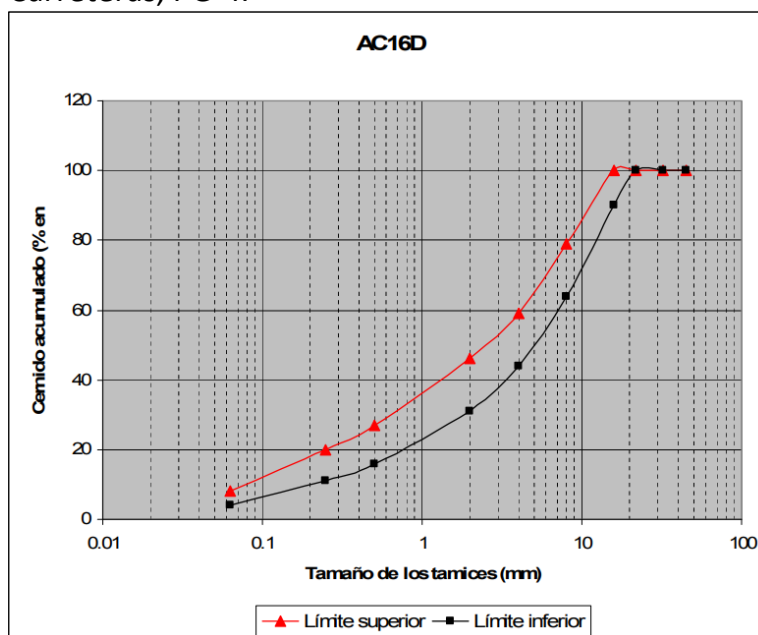
TABLA 542.1.a - TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR EN CAPA DE RODADURA Y SIGUIENTE (*)

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	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.

2.4.1 ÁRIDO

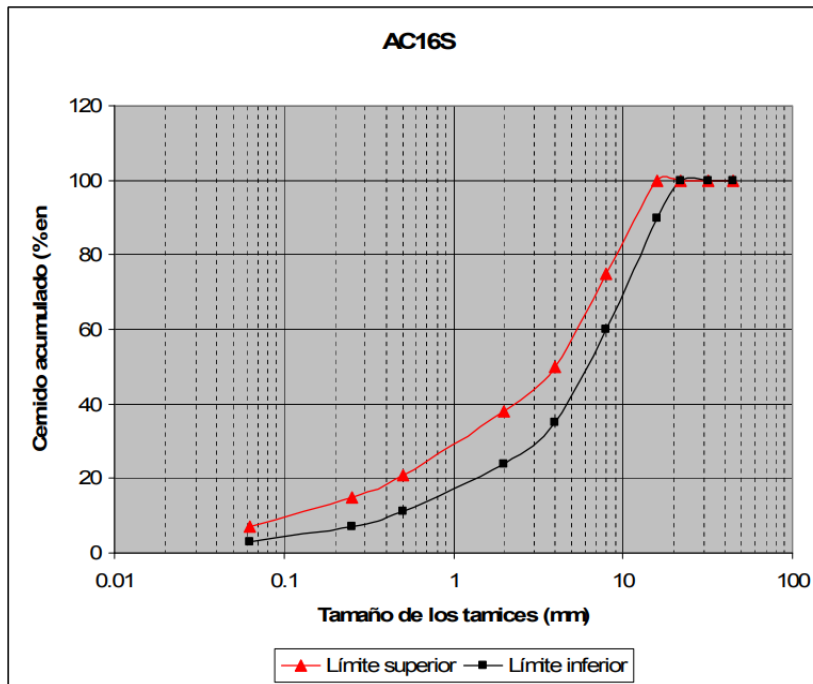
En la fabricación de mezclas bituminosas para capas de base e intermedias, podrá emplearse el material procedente del fresado de mezclas bituminosas en caliente, según las proporciones y criterios establecidos al respecto en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras, PG-4.



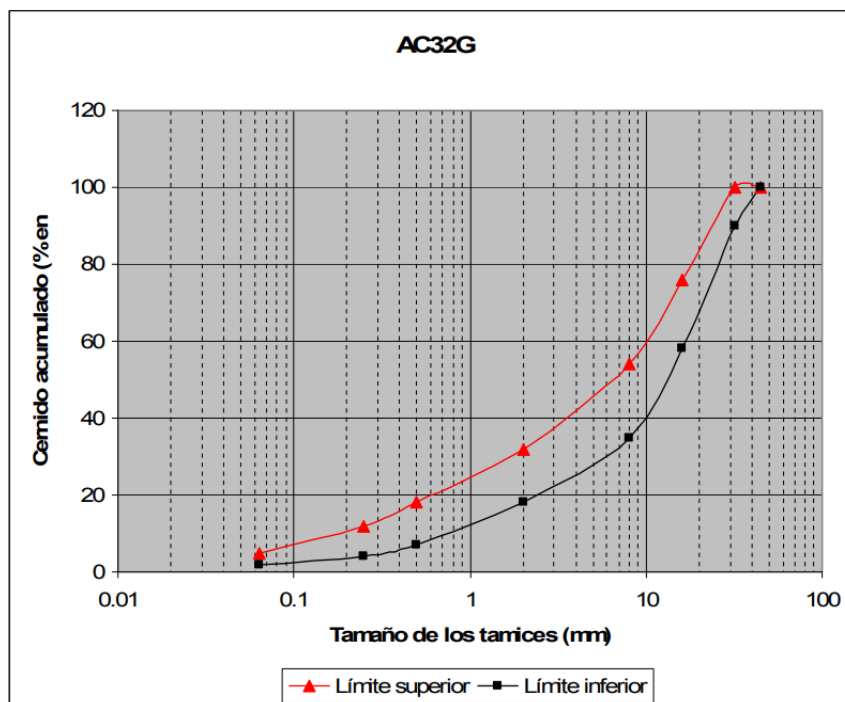
Ejemplo de huso granulométrico de una mezcla densa



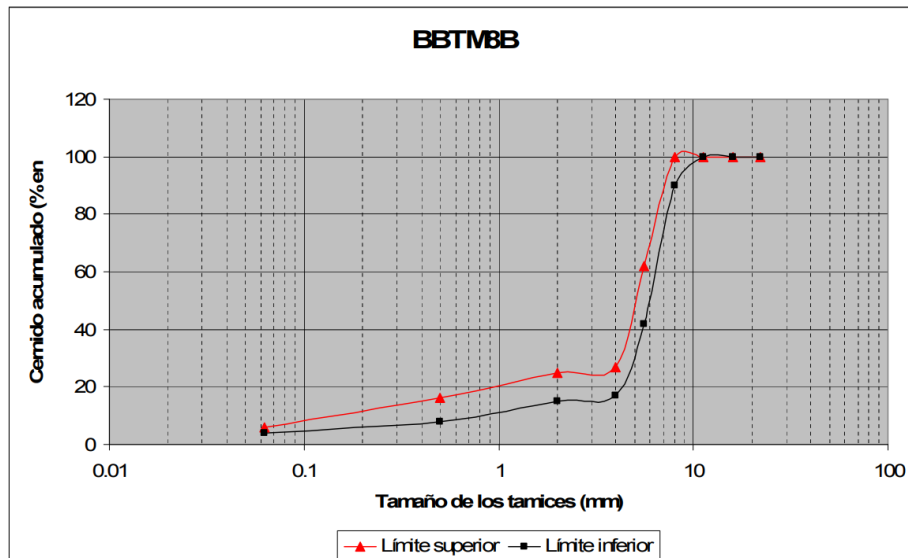
ANEJO Nº: 7 DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES



Ejemplo de huso granulométrico de una mezcla Semidensa



Ejemplo de huso granulométrico de una mezcla gruesa



Ejemplo de huso granulométrico de una mezcla discontinua en caliente

TABLA 542.3- ÍNDICE DE LAJAS (FI)

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
T00	T0 a T31	T32 y ARCENES	T4
≤ 20	≤ 25	≤ 30	

El índice de lajas (FI) de las distintas fracciones del árido grueso (norma UNE-EN 933-3) deberá cumplir lo fijado en la tabla 542.3

TABLA 542.5- COEFICIENTE DE PULIMENTO ACCELERADO (PSV) PARA CAPAS DE RODADURA

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
T00 y T0	T1 a T31	T32, T4 y ARCENES
≥ 56	≥ 50	≥ 44

Resistencia al pulimento para capas de rodadura o coeficiente de pulimento acelerado (PSV) del árido grueso a emplear en capas de rodadura (norma UNE-EN 1097-8) deberá cumplir lo fijado en la tabla 542.5

En cuanto al contenido de impurezas, el árido grueso deberá estar exento de todo tipo de materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa. El contenido de finos (norma UNE-EN 933-1) determinado como el porcentaje que pasa por el tamiz 0,063 mm, será inferior al cinco por mil (< 5‰) en masa.



ANEJO Nº: 7 DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES

La granulometría del árido que compone la mezcla (incluido el polvo mineral), deberá estar comprendida dentro de algunos de los husos fijados en la tabla 542.8, según el tipo de mezcla. El análisis granulométrico se hará conforme a la norma UNE-EN 933-1

TABLA 542.8 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE MEZCLA (*)		ABERTURA DE LOS TAMICES. NORMA UNE-EN 933-2 (mm)									
		45	32	22	16	8	4	2	0,500	0,250	0,063
DENSEA	AC16 D			100	90-100	64-79	44-59	31-46	16-27	11-20	4-8
	AC22 D		100	90-100	73-88	55-70		31-46	16-27	11-20	4-8
SEMIDENSEA	AC16 S			100	90-100	60-75	35-50	24-38	11-21	7-15	3-7
	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
GRUESA	AC22 G		100	90-100	65-86	40-60		18-32	7-18	4-12	2-5
	AC32 G	100	90-100		58-76	35-54		18-32	7-18	4-12	2-5

- (*) A efectos de esta tabla, para designar el tipo de mezcla, se incluye sólo la parte de la nomenclatura que se refiere expresamente al huso granulométrico (se omite por tanto la indicación de la capa del firme y del tipo de betún).

- Para la formulación de mezclas bituminosas en caliente de alto módulo (MAM) se empleará el huso AC22S con las siguientes modificaciones, respecto a dicho huso granulométrico: tamiz 0,250 mm: 8-15%; y tamiz 0,063 mm: 5-8%.

2.4.2 DESIGNACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS

La designación de las mezclas bituminosas, en nuestro caso sigue el esquema siguiente:

AC	D	Capa de empleo	Ligante	Granulometría
----	---	----------------	---------	---------------

Donde:

- AC representa dentro de las mezclas bituminosas en calientes, a aquellas mezclas continuas cerradas tradicionales.
- D indica el tamaño máximo de la mezcla
- Capa de empleo puede ser surf/bin/base lo que equivale a rodadura/intermedia/base
- Ligante, hace referencia al tipo de betún empleado
- Granulometría (D, S, G, MAM)

El tipo de mezcla bituminosa a emplear en función del tipo y del espesor de la capa del firme, se definirá en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, de acuerdo con la tabla 542.9



ANEJO Nº: 7 DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES

TABLA 542.9 - TIPO DE MEZCLA EN FUNCIÓN DEL TIPO Y ESPESOR DE LA CAPA

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	ESPESOR (cm)
	DENOMINACIÓN. NORMA UNE-EN 13108-1(*)	
RODADURA	AC16 surf D AC16 surf S	4 – 5
	AC22 surf D AC22 surf S	> 5
INTERMEDIA	AC22 bin D AC22 bin S AC32 bin S AC 22 bin S MAM (**)	5-10
BASE	AC32 base S AC22 base G AC32 base G AC 22 base S MAM (***)	7-15
ARCENES(****)	AC16 surf D	4-6

(*) Se ha omitido en la denominación de la mezcla la indicación del tipo de ligante por no ser relevante a efectos de esta tabla.

(**) Espesor mínimo seis centímetros (6 cm).

(***) Espesor máximo trece centímetros (13 cm).

(****) En el caso de que no se emplee el mismo tipo de mezcla que en la capa de rodadura de la calzada.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará la dotación mínima de ligante hidrocarbonado de la mezcla bituminosa que, en cualquier caso, deberá cumplir lo indicado en la tabla 542.10, según el tipo de mezcla y de capa.

TABLA 542.10 - DOTACIÓN MÍNIMA DE LIGANTE HIDROCARBONADO

(% en masa sobre el total de la mezcla bituminosa, incluido el polvo mineral)

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



2.5 SECCIÓN ESTRUCTURAL DE FIRME

Conforme al catálogo de secciones de firme que fija la Norma 6.1-IC para una categoría de tráfico T32 y tipo de explanada E-3, las secciones propuestas como posibles soluciones (descartando el firme de hormigón) son las siguientes:

Explanada E-3					
SECCION	FIRME (cm)	RODADURA	INTERMEDIA	BASE	SUBBASE
3231	35	15 cm de M.B.C			20 cm
		5 cm AC16 surf BC 50/70 D	-	10 cm AC 32 base BC 50/70 G	Zahorra artificial

Explanada E-3					
SECCION	FIRME (cm)	RODADURA	INTERMEDIA	BASE	SUBBASE
3232	32	10 cm de M.B.C			22 cm
		3 cm BBTM 11B PMB 45/80-60	7 cm AC 22 bin BC 50/70 D	-	Suelocemento

A continuación, se ilustra ambas secciones con sus respectivos riegos entre capas:



Sección 3231 para explanada E3



Sección 3232 para explanada E3

Donde se definen los siguientes riegos como:



R. De adherencia: Aplicación de una emulsión bituminosa sobre una capa tratada con ligantes hidrocarbonados o con conglomerantes hidráulicos, previa a la colocación sobre ésta de una mezcla bituminosa

R. De curado: Aplicación de una película continua y uniforme de emulsión bituminosa sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, al objeto de impedir la evaporación prematura de humedad.

R. De imprimación: Aplicación de un ligante hidrocarbonado sobre una capa granular, previa a la colocación sobre ésta de una capa bituminosa

3.-VALORACIÓN ECONÓMICA

La siguiente tabla se ha considerado como punto de partidas para el cálculo de las secciones de firme propuestas.

CARACTERÍSTICAS	
Densidad BBTM 11B	2,35 Ton/m ²
Densidad AC 16 surf D	2,35 Ton/m ²
Densidad AC 22 bin D	2,45 Ton/m ²
Densidad AC 32 base G	2,42 Ton/m ²
% en peso de betún modificado en BBTM 11B	5 %
% en peso de betún AC 16 surf D	4,50 %
% en peso de betún AC 22 bin D	4,00 %
% en peso de betún AC 32 base G	4,00 %
Dotación de emulsión en R. Adherencia	0,50 Kg/m ²
Dotación de emulsión en R. Imprimación	1,00 Kg/m ²
Dotación de emulsión en R. Curado	0,30 Kg/m ²
PRECIOS POR UNIDAD	
Zahorra Artificial	
Mezcla bituminosa en caliente BBTM 11B	27,38 €/Ton
Mezcla bituminosa en caliente AC 16 surf D	26,52 €/Ton
Mezcla bituminosa en caliente AC 22 bin D	26,51 €/Ton
Mezcla bituminosa en caliente AC 32 base G	26,47 €/Ton
Betún asfáltico 50/70	440 €/Ton
Betún modificado con polímeros tipo PMB45/80-60	530 €/Ton
Emulsión en riego de adherencia	0,18 €/m ²
Emulsión en riego de imprimación	0,36 €/m ²
Emulsión en riego de curado	0,11 €/m ²

En base a ello se comparan las dos secciones de firmes según el coste del paquete de firme, donde se puede observar la rentabilidad económica que genera el paquete de firmes 3231.



ANEJO Nº: 7 DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES

Explanada E-3						
SECCION	FIRME (cm)	RODADURA		BASE		SUBBASE
3231	35	15 cm de M.B.C				20 cm
		5 cm AC16 surf BC 50/70 D		10 cm AC 32 base BC 50/70 G		Zahorra artificial
		Mezcla	Betún	Mezcla	Betún	Mezcla
		26,52 €/Ton	440 €/Ton	26,47 €/Ton	440 €/Ton	18,19 €/m³
		3,11 €/m²	2,32 €/m²	6,40 €/m²	4,25 €/m²	3,68 €/m²

Explanada E-3						
SECCION	FIRME (cm)	RODADURA		INTERMEDIA		SUBBASE
3232	32	10 cm de M.B.C				22 cm
		3 cm BBTM 11B PMB 45/80-60		7 cm AC 22 bin BC 50/70 D		Suelocemento
		Mezcla	Betún	Mezcla	Betún	Mezcla
		27,38 €/Ton	530 €/Ton	26,51 €/Ton	440 €/Ton	21,81 €/m³
		1,93 €/m²	1,86 €/t	4,54 €/m²	3,01 €/m²	4,79 €/m²

Tabla comparativa según el coste de cada sección de firme