

ANEJO N° 9 – FIRMES Y PAVIMENTOS

ANEJO N° 9 – FIRMES Y PAVIMENTOS

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	3
2.- CATEGORÍA DE TRÁFICO	3
3.- CATEGORÍA DE LA EXPLANADA	3
3.1.- valoración de la explanada	4
4.- SECCIONES TIPO ADOPTADAS.....	5
4.1.- SECCIONES ESTRUCTURALES ESTUDIADAS.....	5
4.2.- TRONCO DE LA N-340	9
4.3.- VIAS DE SERVICIO Y CAMINOS	9
5.- DOTACIONES	9

1.- INTRODUCCIÓN

El presente anejo pretende analizar la sección de firme más idónea a disponer en los viales definidos en el Proyecto de construcción de “actuaciones para la mejora de seguridad vial en la N-340 p.k. 691+800 – p.k. 697+500”.

El estudio se realiza para las siguientes secciones tipo: tronco de la N-340, glorietas y vías de servicio. Del estudio de las calzadas de las anteriores vías, se deducen los firmes a proyectar en los arcones de las mismas.

Las secciones tipo se han definido según las características de la explanada, de los materiales de la zona y del tipo de firme de la autovía actual, puesto que las futuras calzadas se apoyan en algunos tramos en las existentes. Además, las secciones tipo se dimensionan según la categoría del tráfico de vehículos pesados en el carril de proyecto y en el año de puesta en servicio.

Se ha empleado la siguiente normativa:

- Norma 6.1.-I.C. de “Secciones de Firme” de la Instrucción de Carreteras revisada por Orden Ministerial de fecha 12 de diciembre de 2003.

- Orden Ministerial 891/2004 por la que se modifican determinados artículos del PG-3 para obras de carreteras y puentes, relativos a firmes y pavimentos (en especial el artículo 510 Zahorras, 530 Riegos de imprimación, 531 Riegos de adherencia, 542 Mezclas bituminosas en caliente y 543 Mezclas bituminosas discontinuas en caliente).

- Norma 6.3 – I.C. “Rehabilitación de Firmes” de la Instrucción de Carreteras revisada por Orden Ministerial de fecha 12 de diciembre de 2003.

- Orden Circular 24/2008 sobre el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). Artículos: 542 Mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso y 543 Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas.

- Orden Circular 29/2011 sobre el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). Artículos: 542 Mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso y 543 Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas.

2.- CATEGORÍA DE TRÁFICO

La situación actual de la carretera se ha determinado en el anejo nº 6 Tráfico.

La Norma 6.1.-I.C. “Secciones de Firme” considera las siguientes categorías de tráfico pesado para el carril de proyecto:

Categoría de Tráfico Pesado	IMDp
T00	IMDp > 4000
T0	3999 > IMDp > 2000
T1	1999 > IMDp > 800
T2	799 > IMDp > 200

Para determinar la categoría del tráfico a efectos del diseño de firmes es necesario conocer la IMD de vehículos pesados en la calzada y en el año de puesta en servicio. La IMD dada por las estaciones de aforo es la suma de los vehículos en ambos sentidos.

Por tanto, la IMD en un sentido es el 50 % del tráfico total, y para obtener la IMD en el carril de proyecto se tiene en cuenta lo siguiente:

El tráfico en el tramo considerado en el tronco es el siguiente según la tramificación:

- P.K. 686 – P.K. 698: IMD de pesados es de **693** lo que nos da una **categoría de tráfico de T2**.

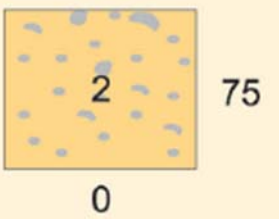
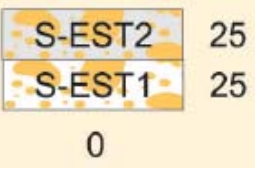
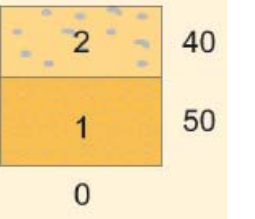
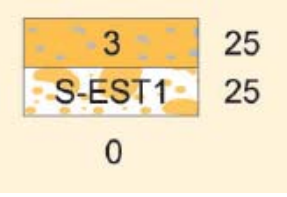
3.- CATEGORÍA DE LA EXPLANADA

El firme proyectado para la calzada principal se apoyará sobre una **explanada de tipo E2**, según la definición que recoge la norma 6.1.-IC “Secciones de Firme”. Las razones por las que se descarta una explanada E3 son las siguientes:

- Necesidad de estabilizar, operación con rendimientos muy bajos si se considera las características de la actuación.
- Reducción poco significativa de la profundidad de la excavación respecto a la disposición de una explanada de categoría E2.
- Con el fin de conseguir homogeneidad con el tramo adyacente al que se va a solapar la actuación proyectada, el cual está constituido por la misma explanada E2 elegida.

Las posibles explanadas a colocar en la presente actuación de acuerdo al suelo obtenido son:

➤ **Explanada E2 sobre suelo tolerable:**

ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		ALTERNATIVA 4	
							
Suelo Seleccionado (CBR ≥ 10)	0,75 m	S-EST 2	0,25 m	Suelo Seleccionado (CBR ≥ 10)	0,40 m	Suelo Seleccionado (CBR ≥ 20)	0,25 m
		S-EST 1	0,25 m	Adecuado	0,50 m	S-EST 1	0,25 m
Suelo tolerable		Suelo tolerable		Suelo tolerable		Suelo tolerable	

Por las razones expuestas por las que se descarta la explanada E3, descartaremos igualmente las alternativas 2 y 4 de la explanada E2. Por tanto, solo se estudiarán las alternativas 1 y 3 por no ser necesario estabilizar.

3.1.- VALORACIÓN DE LA EXPLANADA

Se estudia la valoración de la explanada considerada para una sección de vial de nueva ejecución (3,5 m de carril, 1,5 m arcén exterior, 1 m arcén interior, 1 m berma).

El precio de abono de las unidades de explanada aparecen recogidas en el anejo de justificación de precios. Los precios considerados en este apartado tienen como única función la de realizar una evaluación económica de las distintas secciones permitiendo la elección de una de ellas.

Los precios empleados en esta comparativa son los siguientes:

Unidad	Concepto	Precio (€)
m ³	Suelo seleccionado	6,67
m ³	Suelo adecuado	5,87
m ³	Suelo estabilizado S-EST1	7,25
m ³	Suelo estabilizado S-EST 2	8,02
m ³	Suelo estabilizado S-EST 3	8,26
t	Cemento para est. Suelos	71,18

Precios unitarios para la formación de la explanada

	Explanada	
	Tipo Explanada	Valoración explanada (€)
Alternativa 1	E2	52,53
Alternativa 3	E2	64,43

Precios unitarios para la formación de la explanada

Con los datos de la explanada natural, de la información extraída de la figura anterior y con la premisa que se tomará la explanada que mejor se adapte al terreno existente proporcionando la mejor calidad posible a la explanada, se deduce que lo más conveniente es adoptar una categoría de explanada **E2 formada por 75 cm de suelo seleccionado**.

4.- SECCIONES TIPO ADOPTADAS

4.1.- SECCIONES ESTRUCTURALES ESTUDIADAS

A continuación se va a proceder a dimensionar la sección del paquete de firme en base a la Norma 6.1-IC de 28 de Noviembre de 2003.

Atendiendo al análisis realizado en el Anejo 6 "Estudio de tráfico", se deduce que para el dimensionamiento de la sección estructural del firme se adopta la **categoría de tráfico pesado T2** para el carril proyectado, según la norma 6.1-IC "Secciones de firme" de la Instrucción de Carreteras.

La categoría de **explanada considerada será la E2.**

A continuación, se estudiará técnica, constructiva y económicamente la sección óptima con las condiciones expuestas anteriormente, es decir, **categoría de tráfico pesado T2 y explanada E2.**

Generalidades

Se tienen en cuenta los siguientes criterios para el dimensionamiento del firme:

Siguiendo la norma 6.1-IC "Secciones de firme" del Ministerio de Fomento, se tienen en cuenta el siguiente criterio para el dimensionamiento del firme:

- **En las categorías de explanada, 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 zahorras, y sobre explanadas estabilizadas se dispondrán preferentemente subbases de suelocemento.**

En la siguiente figura se recogen las distintas posibilidades de formación de secciones de firme según la Norma 6.1-IC.

En función de los factores de dimensionamiento se seleccionan las secciones de firme adecuadas para el tramo de carretera proyectada. En el catálogo de secciones de firme de la Norma 6.1-IC., se representan por tres dígitos correspondientes a los siguientes tres factores:

- Categoría de tráfico pesado (T2 en todos los casos (2))
- Explanada de categoría E2 (2)
- Materiales a emplear bajo la base, zahorra artificial (1).

		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
		T00	T0	T1	T2
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1				
	E2				
	E3				

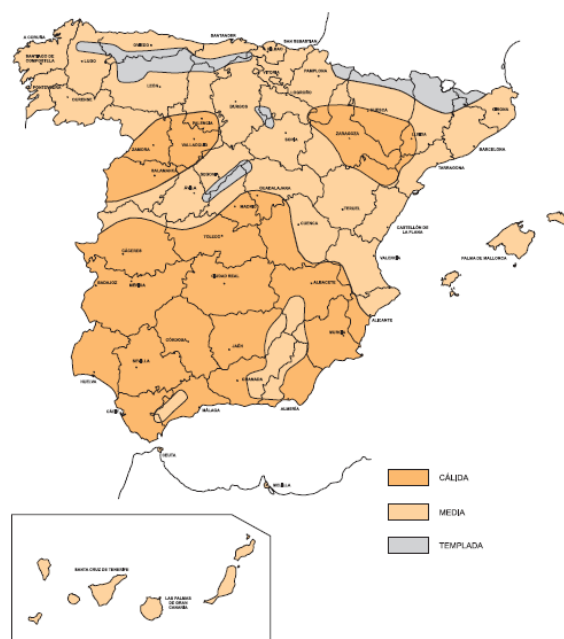
Catálogo de Secciones de firme para las categorías de tráfico pesado T00 a T2, en función de la categoría de explanada.

Materiales para la sección de firme

En las figuras anteriores se refleja el catálogo de secciones completo de la Instrucción de Carreteras de las cuales se estudiarán las correspondientes a **explanada E2 formada por suelos naturales (suelo seleccionado)** para **categoría de tráfico T2 con sección de firme 221**.

- **Mezclas bituminosas**

La **categoría de tráfico pesado** en el año de puesta en servicio en la carretera es **T2**. Se emplearán exclusivamente mezclas bituminosas en caliente. Según los criterios marcados por la **Instrucción 6.1-I.C “Secciones de Firme”** se determina que el tramo se encuentra en una **zona térmica estival media**.



Zonas térmicas estivales

Para zona térmica estival media y categoría de tráfico T2 se deben utilizar los siguientes ligantes hidrocarbonados y espesores de capa siguientes, según la figura 4 del catálogo de secciones de firme del presente anejo:

- En la capa de rodadura: B50/70, El espesor de la capa será de entre 6-5 cm para mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso.
- En la capa intermedia: B 50/70. El espesor de capa estará comprendido entre los valores 5-10 cm siendo la mezcla empleada de tipo denso (D) o semidenso (S).
- En capa base: B50/70. El espesor de capa estará comprendido entre los valores 7-15 cm empleando una mezcla de tipo semidenso (S) o grueso (G).

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		

(*) Ver definiciones en tabla 5 o artículos 542 y 543 del PG-3.
 (**) Salvo en arcones, para los que se seguirá lo indicado en el apartado 7.

Espesor de capas de mezcla bituminosa en caliente

El empleo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso, permite mejorar las cualidades reológicas respecto al betún de partida. Con el empleo de betunes modificados con caucho se incrementa significativamente la durabilidad del firme respecto al uso de betunes convencionales, lo que implica un importante ahorro económico a medio-largo plazo.

Estos betunes, además de las ventajas técnicas mencionadas aportan importantes ventajas medioambientales, por un lado colaboran en la eliminación de neumáticos fuera de uso en vertederos y por otro, minimizan el impacto acústico al reducir los niveles de ruido durante la rodadura de los vehículos, aspecto que tiene especial relevancia en vías urbanas y circunvalaciones.

Las especificaciones técnicas de los **betunes modificados con caucho (BMC)** se corresponden con las recogidas en el artículo 212 del PG-3.

El tipo y composición de la mezcla son función principalmente del espesor definitivo, la climatología y la categoría de tráfico pesado. En el caso de la capa de **rodadura** la **relación entre polvo mineral y ligante** será de **1,2 en mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso en zona térmica estival media**. En capas **intermedia y base** la relación recomendada entre polvo mineral y ligante es de **1,1 y 1 respectivamente** para el tramo en estudio.

Las características del árido a emplear serán las marcadas por los artículos 542 y 543 del PG-3, todo el árido fino deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o grava, y el 100% del polvo mineral será de aportación en carriles, pudiéndose reducir hasta el 50 % en los arcones. En la capa de rodadura el polvo mineral podrá proceder de áridos, separándose de ellos por extracción en la central de fabricación.

Es necesario el empleo de una central de mezcla continua o discontinua para la fabricación de las mezclas bituminosas, transportándose al lugar de empleo en camiones de cajas lisas y estancas perfectamente limpias y

provisto de lona para proteger la mezcla en su transporte. La extensión se realizará con una extendidora autopropulsada, con dispositivo de nivelación, y que precompacte al extender. Las características definitivas de las capas se obtienen finalmente con el equipo de compactación.

Las características técnicas de los pavimentos bituminosos son adecuadas para el tramo de carretera que se proyecta por las siguientes razones:

1. Es el tipo de pavimento más utilizado, por lo que existe más experiencia y un mayor número de empresas con maquinaria de características adecuadas para una buena ejecución.
2. La ejecución de la mezcla se puede realizar en cualquier época del año ya que no existe ningún tipo de limitación por causas térmicas.
3. Empleando mezcla bituminosa se consigue un firme homogéneo con los tramos contiguos.
4. Se consigue una rodadura más cómoda para los usuarios.
5. La ejecución de este tipo de pavimento es más económica que la de hormigón.
6. El pavimento de mezcla bituminosa necesita más conservación, pero las actuaciones son más sencillas y económicas.

- **Zahorra artificial**

Se trata de un material granular de geometría continua procedente de cantera o grava natural. Al estar compuesta por partículas de todos los tamaños es posible obtener una compacidad elevada, aumentando los puntos de contacto de las partículas entre sí y disminuyendo el riesgo de atrición. Los áridos de machaqueo tienen un mayor número de caras de fractura, lo que consigue aumentar la rigidez de su esqueleto mineral. Este material deberá estar exento de cualquier materia que pueda afectar la durabilidad de la capa.

El coeficiente de desgaste de Los Ángeles debe ser inferior a 30, con un coeficiente de limpieza que será inferior a uno (1) y el material no plástico.

La zahorra artificial se prepara en central, se transporta hasta el lugar de empleo previamente preparado, se extiende y compacta, humedeciéndolo caso de ser necesario.

- **Riego de adherencia**

El apartado 6.2.1.5 de la norma 6.1-IC establece que entre dos capas sucesivas de mezcla bituminosa se ejecute un riego de adherencia acorde con lo indicado en el artículo 531 del PG-3, con una **dotación mínima de betún residual de 0,25 kg/m²** cuando la capa superior sea una mezcla discontinua en caliente o de **0,20 kg/m²** para el resto de casos. La correcta ejecución de estos riegos es fundamental para el buen comportamiento del firme.

Se ha previsto la ejecución de estos riegos mediante el empleo de una emulsión **C60B3 ADH** (antigua ECR-1) con la misma dotación de betún residual bajo capas de rodadura de mezcla bituminosa tipo hormigón bituminoso.

Estos riegos se utilizarán, además de en su empleo como material de adherencia entre capas bituminosas sucesivas en los riegos de curado sobre capas tratadas con conglomerantes hidráulicos, como es el caso de la explanada proyectada.

- **Riego de imprimación**

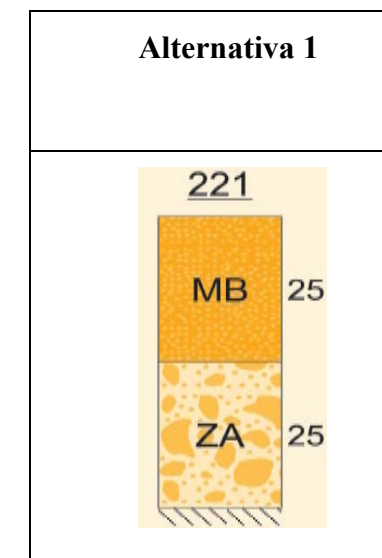
El apartado 6.2.1.4 de la norma 6.1-IC especifica que sobre la capa granular que vaya a recibir una capa de mezcla bituminosa o un tratamiento superficial deberá previamente efectuarse un riego de imprimación cuya correcta ejecución es fundamental para el buen comportamiento del firme acorde con lo indicado en el artículo 530 del PG-3, con una **dotación mínima de betún residual de 0,5 kg/m²** en ningún caso.

Se prevé el empleo de una emulsión catiónica **C50BF5 IMP** (antigua ECI).

Alternativa elegida

Con lo expuesto en los apartados anteriores la alternativa elegida es la siguiente:

➤ **Cat. Tráfico pesado T2 - Suelo tolerable - Explanada E2-Sección de firme 221**



Técnicamente los firmes con base de zahorra garantizan un mejor drenaje de las calzadas, por lo que son interesantes cuando el nivel freático es alto en las zonas de desmonte, y un mayor espesor de material granular posibilita una mejor adaptación a los asientos del terreno.

Sección 221

Esta sección es adecuada para emplearla bajo un tráfico pesado de categoría T2, construido sobre una explanada E2, las características geométricas de cada capa que forman parte del firme en una calzada y empleada en la evaluación económica son las siguientes:

Rodadura (AC 16 SURF S)	5,00 cm
Intermedia (AC22 bin S)	8,00 cm
Base (AC32 base G)	12,00 cm
Zahorra artificial	25,00 cm
Suelo seleccionado	75,00 cm

4.2.- TRONCO DE LA N-340

Se proyecta un firme formado por la **sección 221**

- Tronco de la N-340 p.k. 691+800 – 697+500 categoría de tráfico T2:

- o - 5 cm de Mezcla Bituminosa semidensa AC16 surf S
- o - 8 cm de Mezcla Bituminosa semidensa AC22 bin S
- o - 12 cm de Mezcla Bituminosa gruesa AC32 base G
- o - 25 cm de Zahorra

Entre la capa de rodadura y la intermedia se ejecutará un riego de adherencia con emulsión C60B3 ADH y dotación mínima de 0,5 kg/m², entre la capa intermedia y la capa de base se ejecutará un riego de adherencia con emulsión C60B3 ADH y dotación mínima de 0,5 kg/m².

Sobre las capas de la explanada estabilizadas con cemento se ejecutará un riego de imprimación con emulsión C50BF5 IMP y una dotación mínima de 1,25 kg/m².

4.3.- VIAS DE SERVICIO Y CAMINOS

Las vías de servicio tendrán una categoría de tráfico inferior a la correspondiente al tronco según en el tramo de la N-340 que se encuentren, es decir para el tramo comprendido entre los p.k. 691+800 al 697+500 será **T3 y la sección la 3221**.

- Vías de servicio y caminos p.k. 691+800 – 697+500 categoría de tráfico T3:

- o - 5 cm de Mezcla Bituminosa semidensa AC16 surf S
- o - 10 cm de Mezcla Bituminosa semidensa AC22 bin S
- o - 35 cm de Zahorra

Entre la capa de rodadura y la intermedia se ejecutará un riego de adherencia con emulsión C60B3 ADH y dotación mínima de 0,5 kg/m².

Sobre las capas de la explanada estabilizadas con cemento se ejecutará un riego de imprimación con emulsión C50BF5 IMP y una dotación mínima de 1,25 kg/m².

5.- DOTACIONES

Se consideran las siguientes densidades y dotaciones de la mezcla bituminosa a emplear:

Mezcla	Densidad (T/m ³)	Dotación de betún (%)	Dotación de filler (%)
AC16 SURF S	2,35	4,50	1,2
AC22 S	2,45	4,00	1,1
AC32 G	2,40	4,00	1

Se consideran las siguientes dotaciones de riegos:

Dotaciones de riegos		
Tipo de riego	Tipo de emulsión	Dotación (t/m ²)
Riego de adherencia	C60B3 ADH	0,00050
Riego de imprimación	C50BF5 IMP	0,00125