

ANEJO Nº 10 – FIRMES Y PAVIMENTOS

ANEJO Nº 10 - FIRMES Y PAVIMENTOS

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	3
2.- FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO	3
2.1. TRÁFICO PESADO	3
2.2. EXPLANADA.....	3
2.3. DISPONIBILIDAD DE MATERIALES	5
2.4. FIRME DISPUESTO EN VIALES EXISTENTES	5
3.- CLIMA.....	5
4.- SECCIONES DE FIRME	9
4.1. CONSIDERACIONES INICIALES	9
4.2. CONSIDERACIONES TÉCNICAS	9
4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO	10
4.4. SECCIÓN TIPO SELECCIONADA.....	11
4.5. SECCIONES DE FIRME DISPUESTAS	12
5.- PAVIMENTOS	13
6.- SISTEMA CONSTRUCTIVO DE LOS VIALES.....	13

ANEJO Nº 10 - FIRMES Y PAVIMENTOS

1.- INTRODUCCIÓN

En este Anejo se incluye la determinación de las secciones estructurales de firme finalmente adoptadas en el presente Proyecto.

Para esta determinación se ha seguido la normativa siguiente:

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), incluida la Orden FOM 2523/2014 de 12 de diciembre.
- 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.
- Orden Circular 1/2023 sobre actualización de espesores de las capas y tipos de mezclas bituminosas en caliente y semicaliente en la Norma 6.1 IC "Secciones de Firme".

2.- FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO

Según lo incluido en la Norma 6.1-IC Secciones de Firme, los factores de dimensionamiento para el diseño del firme son los siguientes:

- Tráfico pesado: se deberá considerar la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMD_p) que se prevea en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio. Este valor determinará la categoría de tráfico pesado según los valores de la tabla 1A y 1B de la citada Norma.
- Explanada: se deberá seleccionar una categoría de explanada para el apoyo del firme según la tabla 2 de la Norma 6.1-IC. La categoría finalmente seleccionada dependerá del tipo de suelo presente en la explanación o de la obra de tierra subyacente, y de las características y espesores de los materiales disponibles.

A continuación, se recogen los valores adoptados para estos factores.

2.1. TRÁFICO PESADO

La categoría de tráfico pesado se ha determinado en el estudio recogido en el apartado 4 del Anejo de Tráfico. Así, para el año de puesta en servicio y según las IMD_p recogidas

en el citado estudio, se obtuvieron unas categorías de tráfico pesado de T41 para el nuevo vial y de T31 para la glorieta sobre la carretera N-547. Finalmente, con el fin de tener un cierto resguardo en el dimensionamiento del firme, teniendo en cuenta que se trata de un ramal que debiera captar tráfico pesado hacia el polígono de A Madalena, se adopta para el nuevo vial una **categoría de tráfico pesado T31** y para la glorieta sobre la carretera N-547 una **categoría de tráfico pesado T2**, para no introducir una diferencia muy grande con el firme actual de la N-547.

2.2. EXPLANADA

Considerando el tipo de vial en proyecto (independiente ya de la autovía A-54, por lo que no tiene consideración de enlace) y el tráfico que soporta, se considera razonable optar por una categoría de explanada E2 por ser más sencilla su ejecución a partir de los materiales tipo suelo existentes en la traza y reducir el empleo de conglomerante hidráulico para su estabilización que en el caso de una E3.

En el anejo de Geotecnia del Corredor se incluyen recomendaciones prácticas para formar esta categoría de explanada según la Norma 6.1-IC Secciones de firme, considerando las explanadas naturales y la disponibilidad de materiales. Se incluye a continuación copia de estas recomendaciones:

- Formación de la explanada en rellenos.:

Al formarse los rellenos con material procedente de las excavaciones de la traza tipo Todo uno, asimilable a un suelo tipo 3, según la Norma 6.1-IC "Secciones de firme" no será necesario aportar nuevos materiales para la formación de la explanada E2.

Solución recomendada para la formación de la explanada en rellenos

APOYO	E-2
SUELOS SELECCIONADOS (3) CORONACIÓN RELLENOS	3 min 100

- Formación de la explanada en desmontes: En los fondos de desmonte se pueden dar varios casos:

- Apoyo en suelos GM V: suelo Tolerable (0) o marginal (IN).

En el caso de aparecer roca con GM V de tipo "marginal" en el fondo de desmonte se dispondrá una capa de 70 cm de suelo tolerable tipo (0) y sobre ésta, otra capa de 30 cm de S-EST2.

En el caso de los suelos “Tolerables, atendiendo a la disponibilidad de materiales y coste de la sección, se propone disponer una capa de 25 cm de suelos estabilizado S-EST1 y sobre ésta otra capa de 25 cm de suelo estabilizado S-EST2.

- Apoyo en roca alterada, GM IV: asimilable a suelo seleccionado tipo (3).

En el caso de aparecer roca grado IV en el fondo de desmonte se considera dicho material como suelo seleccionado (3), y por lo tanto, según la O.C.10/02 de la norma “Secciones de firmes” no es necesario la formación de explanada, la sección del firme se coloca directamente sobre el fondo de excavación.

Combinaciones recomendadas de formación de la explanada en desmontes.

APOYO	E-2
SUELOS SELECCIONADOS (3) GM IV	min 100 3
SUELOS INADECUADOS O MARGINALES (IN) GM V	S-EST2 30 0 70 IN
SUELOS TOLERABLES (0) GM V	S-EST2 25 S-EST1 25 0

Como complemento a estas recomendaciones geotécnicas, se realiza a continuación un análisis económico comparativo entre las distintas alternativas de formación de una explanada de categoría E2 sobre los fondos de explanación en desmonte tipo marginal y tipo tolerables (0) presentes en el tramo, donde habría varias alternativas según la disponibilidad de materiales descrito en el Anejo de Geología y procedencia de materiales y en el anejo de Movimiento de tierras.

En la tabla siguiente recogemos los precios unitarios de las unidades de obra necesarias para realizar este análisis comparativo. Destacar que estos precios no tienen carácter contractual, estableciéndolos únicamente para realizar la presente comparativa.

UD	UNIDAD DE OBRA	PRECIO (€)
m ³	Suelo seleccionado proc. de cantera formación explanada	9,22
m ³	Suelo adecuado proc. de cantera formación explanada	8,56
m ³	Suelo tolerable proc. de la traza formación explanada	3,05
m ³	Suelo estabilizado in situ S-EST1 tierras proc. de préstamo/cantera	11,89

UD	UNIDAD DE OBRA	PRECIO (€)
m ³	Suelo estabilizado in situ S-EST2 tierras proc. de préstamo/cantera	11,89
m ³	Suelo estabilizado in situ S-EST3 tierras proc. de préstamo/cantera	13,01
m ³	Excavación en desmonte	2,37

ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO FONDOS DE DESMONTE TIPO MARGINAL O INADECUADO						
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3	OPCIÓN 4	OPCIÓN 5	OPCIÓN 6
Capa 1	100 cm s. selec 2	30 cm SEST-2	40 cm s. selec. 3	30 cm SEST-2	30 cm SEST-2	40 cm s. selec. 3
Capa 2	---	60 cm s. adec. 1	60 cm s. adec. 1	50 cm SEST-1	70 cm s. toler. 0	80 cm s. toler 0
Fondo explanación	Inadecuado o marginal (IN)					

Se ha obtenido el coste de construcción por metro cuadrado de las secciones tipo analizadas, cuyo resumen se recoge en las tablas siguientes.

	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3	OPCIÓN 4	OPCIÓN 5	OPCIÓN 6
Coste (€/m²)	9,22	8,70	8,82	9,51	5,70	6,13

La opción 5, formada por 30 cm de S-EST2 sobre 70 cm de suelo tolerable (0) resulta la más favorable desde el punto de vista económico, y coincide con la opción recomendada en el Anejo de Geotecnia del corredor.

ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO FONDOS DE DESMONTE TIPO TOLERABLE				
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3	OPCIÓN 4
Capa 1	75 cm s. selec 2	25 cm SEST-2	40 cm s. selec. 2	25 cm s. selec 3
Capa 2	---	25 cm SEST-1	50 cm s. adec. 1	25 cm SEST-1
Fondo explanación	Tolerable (0)			

Se ha obtenido el coste de construcción por metro cuadrado de las secciones tipo analizadas, cuyo resumen se recoge en las tablas siguientes.

	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3	OPCIÓN 4
Coste (€/m²)	6,92	5,95	7,97	5,28

La opción 4, formada por 25 cm de S-EST1 sobre 25 cm y 25 cm de suelo seleccionado (3) resulta ligeramente más favorable desde el punto de vista económico, aunque muy parecida a la opción 2 formada por 25 cm de S-EST2 sobre 25 cm de S-EST1. Atendiendo al coste de la sección y para mantener la uniformidad en la capa superior de coronación, se propone disponer la opción 2, formada por una capa inferior de 25 cm de suelo estabilizado S-EST1 y otra superior de 25 cm de suelo estabilizado S-EST2, coincidente con la opción recomendada en el anejo de Geotecnia del Corredor.

Por tanto, la formación de la **explanada E2** se realizará de la siguiente manera:

- en fondos de desmonte inadecuados o marginales (IN), una capa de 30 cm de suelo estabilizado 2 sobre 70 cm de suelo tolerable procedente de cantera.
- en fondos de desmonte tolerables (0), 25 cm de S-EST2 sobre 25 cm de S-EST1.
- en los fondos de desmonte tipo (3) no será necesario material de aporte siendo el propio fondo de excavación.
- en los rellenos no será necesario material de aporte al formarse los rellenos con material todo uno de la traza, asimilable a un suelo tipo 3.

2.3. DISPONIBILIDAD DE MATERIALES

Según lo recogido en el Anejo de Geología y procedencia de materiales, a continuación, se incluye una tabla resumen con la procedencia y disponibilidad de los materiales necesarios para la ejecución de los firmes proyectados.

MATERIAL	PROCEDENCIA	DISPONIBILIDAD
Áridos capa de rodadura	Cantera	Suficiente para la obra
Suelo tolerable	Cantera	Suficiente para la obra
Suelo estabilizado 1 y 2	Cantera	Suficiente para la obra
Zahorra artificial	Cantera	Suficiente para la obra
Suelocemento	Cantera/planta	Suficiente para la obra

2.4. FIRME DISPUESTO EN VIALES EXISTENTES

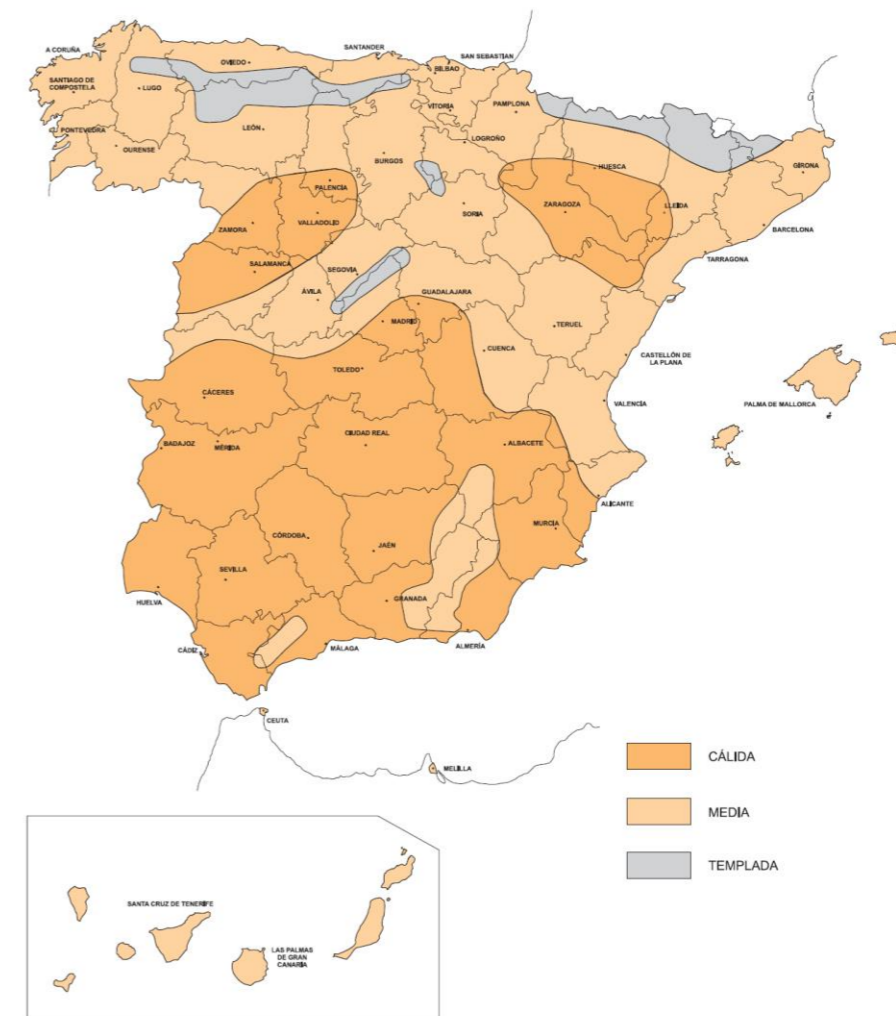
El firme dispuesto en el tramo de conexión ejecutado del ramal del Enlace de Remonde es el siguiente:

Ramal Enlace de Remonde Sección 4132	
Capa de rodadura	5 cm de AC16 SURF S
Capa intermedia	10 cm de AC22 BIN D
Subbase	20 cm de suelocemento

El firme dispuesto en la carretera N-547, según el inventario de firme existente, está compuesto por 20 cm de mezcla bituminosa y 50 cm de material granular.

3.- CLIMA

Para la elección del tipo de ligante bituminoso, así como la relación entre su dosificación entre su dosificación en masa y la del polvo mineral, la Norma 6.1-IC señala en la Figura 3 "Zonas térmicas estivales", el mapa de las zonas climáticas de España.



El área de estudio Lugo pertenece a la zona térmica estival media, por lo que conforme a la “Orden FOM/2523/2014, modificación de determinados artículos del 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” y la norma 6.1 IC “Secciones de firme”, se obtiene:

a) La mezcla bituminosa en caliente tipo hormigón bituminoso a emplear en función del tipo de capa y espesor de la capa del firme será conforme a la tabla 542.9 del PG-3.

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.

b) El tipo de mezcla bituminosa en caliente discontinua a emplear en capa de rodadura en función de la categoría del tráfico y espesor de la capa de firme será conforme a la norma 6.1 IC “Secciones de firme”.

Tipo de capa	Tipo de Mezcla	Categoría de tráfico pesado		
		T00 a T1	T2 y T31	T32, T41 y T42
Rodadura	PA	4 cm		
	M	3 cm	2 – 3 cm	
	F	---		
	D y S		6-5	5

c) Dotación mínima de ligante hidrocarbonado para mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso (% en masa sobre el total del árido seco, incluido el polvo mineral).

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

(*) Incluidas las tolerancias especificadas en el epígrafe 542.9.3.1. Si son necesarias, se tendrán en cuenta las correcciones por peso específico y absorción de los áridos.

d) Dotación mínima de ligante hidrocarbonato para mezclas bituminosas en caliente discontinuas para capas de rodadura y drenantes (% en masa sobre el total del árido seco, incluido el polvo mineral).

TABLA 543.9 - TIPO, COMPOSICIÓN Y DOTACIÓN DE LA MEZCLA

CARACTERÍSTICA	TIPO DE MEZCLA					
	PA 11	PA 16	BBTM8B	BBTM11B	BBTM8A	BBTM11A
DOTACIÓN MEDIA DE MEZCLA (kg/m ²)	75-90	95-110	35-50	55-70	40-55	65-80
DOTACIÓN MÍNIMA(*) DE LIGANTE (% en masa sobre el total de la mezcla)	4,30		4,75		5,20	
LIGANTE RESIDUAL EN RIEGO DE ADHERENCIA (kg/m ²)	FIRME NUEVO	> 0,30			> 0,25	
	FIRME ANTIGUO	> 0,40			> 0,35	

(*) Incluidas las tolerancias especificadas en el epígrafe 543.9.3.1. Si son necesarias, se tendrán en cuenta las correcciones por peso específico y absorción de los áridos.

e) Relación recomendable de polvo mineral-ligante en mezclas bituminosas en calientes, tipos hormigón bituminoso densas, semidensas y gruesas para categoría de tráfico T00 a T2, en zonas cálidas y medias, es la siguiente:

TABLA 542.11 - RELACIÓN PONDERAL (*) RECOMENDABLE DE POLVO MINERAL-LIGANTE EN MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS PARA LAS CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T00 A T2

TIPO DE CAPA	ZONA TÉRMICA ESTIVAL	
	CÁLIDA Y MEDIA	TEMPLADA
RODADURA	1,2	1,1
INTERMEDIA	1,1	1,0
BASE	1,0	0,9

(*) Relación entre el porcentaje de polvo mineral y el de ligante expresados ambos respecto de la masa total del árido seco, incluido el polvo mineral.

f) La relación ponderal recomendable entre los contenidos de polvo mineral y ligante hidrocarbonado (expresados ambos respecto de la masa total de árido seco, incluido el polvo mineral) determinada en la fórmula de trabajo, según el tipo de mezcla bituminosa en caliente discontinua a emplear, deberá estar comprendida en los siguientes intervalos:

- Mezclas tipo BBTM A entre 1,2 y 1,6.
- Mezclas tipo BBTM B entre 1,0 y 1,2.
- Mezclas tipo PA entre 0,9 y 1,1.

g) Proporción de partículas trituradas del árido grueso para mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso (% en masa):

TABLA 542.2.a - PROPORCIÓN DE PARTÍCULAS TOTAL Y PARCIALMENTE TRITURADAS (% en masa)

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00	T0 y T1	T2	T3 y ARCENES	T4
RODADURA	100			≥ 90	≥ 70
INTERMEDIA	100			≥ 90	≥ 70 (*)
BASE	100	≥ 90		≥ 70	

(*) en vías de servicio

h) Proporción de partículas trituradas del árido grueso para mezclas bituminosas en caliente discontinuas para capas de rodadura (% en masa).

TABLA 543.2.a - PROPORCIÓN DE PARTÍCULAS TOTAL Y PARCIALMENTE TRITURADAS (% en masa)

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
	T00 a T31	T32 y ARCENES	T4
DISCONTINUA	100	≥ 90	≥ 70
DRENANTE			

i) Proporción de polvo mineral de aportación para mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso (% en masa del resto del polvo mineral, excluido el inevitablemente adherido a los áridos).

TABLA 542.6 - PROPORCIÓN DE POLVO MINERAL DE APORTACIÓN

(% en masa del resto del polvo mineral, excluido el inevitablemente adherido a los áridos)

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00	T0 y T1	T2	T3 y ARCENES	T4
RODADURA	100			≥ 50	
INTERMEDIA	100		≥ 50		
BASE	100	≥ 50			

j) Proporción de polvo mineral de aportación para mezclas bituminosas en caliente discontinuas para capa de rodadura (% en masa del resto del polvo mineral, excluido el inevitablemente adherido a los áridos).

TABLA 543.6 - PROPORCIÓN DE POLVO MINERAL DE APORTACIÓN

(% en masa del resto del polvo mineral, excluido el inevitablemente adherido a los áridos)

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
T00 a T2	T3, T4 y ARCENES
100	≥ 50

k) Tipo de ligante a emplear:

- Para mezcla bituminosa en caliente tipo hormigón bituminoso:

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 45/80-60 PMB 45/80-65	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	
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		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 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 mezcla bituminosa en caliente discontinua y drenante en capa de rodadura:

TABLA 542.1.b - TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR EN 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	35/50 50/70	50/70 BC50/70
MEDIA		PMB 25/55-65	BC35/50 BC50/70	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.

Para la elección de la capa de rodadura deberá considerarse la Figura 4 “Zonas Pluviométricas”, definida en la Norma 6.1-IC.

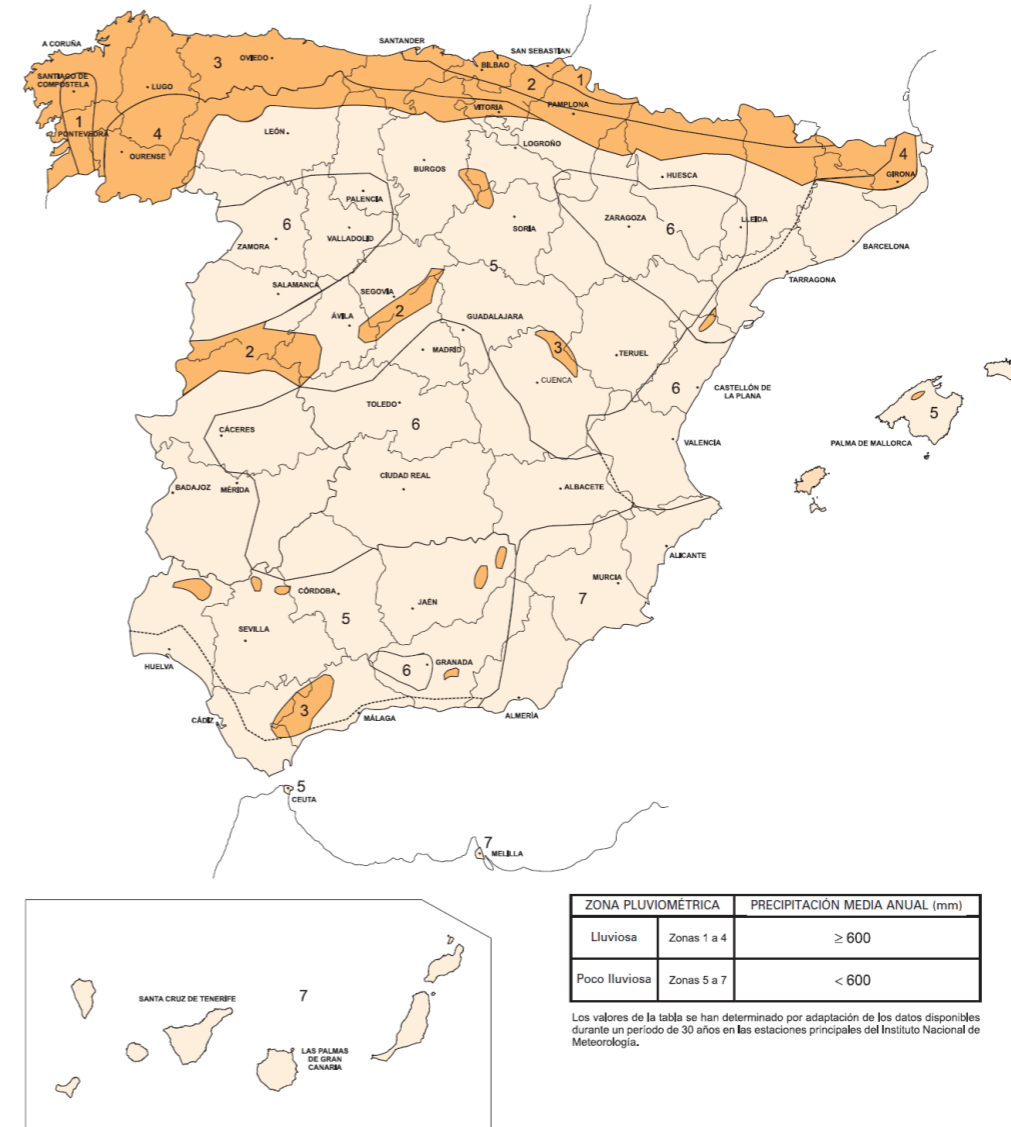


FIGURA 4. ZONAS PLUVIOMÉTRICAS

El área de estudio pertenece a la zona 4, zona lluviosa, con una precipitación media anual (mm) > 600. La norma indica lo siguiente, en cuanto a la capa de rodadura de mezcla bituminosa:

➤ No deberán proyectarse, salvo justificación en contra, pavimentos con mezcla drenante en altitudes superiores a los 1.200 m o cuando el tramo a proyectar esté comprendido en una zona poco lluviosa.

- Para las categorías de tráfico pesado T00 a T1 se emplearán las mezclas discontinuas en caliente tipo BBTM o bien las drenantes, según las condiciones de intensidad de circulación y pluviométricas.
- Las mezclas drenantes sólo podrán aplicarse en carreteras sin problemas de nieve o de formación de hielo, cuyos accesos estén pavimentados, con tráfico suficiente ($IMD \geq 5.000$ veh./día) y con un régimen de lluvias razonablemente constante que facilite su limpieza.

4.- SECCIONES DE FIRME

4.1. CONSIDERACIONES INICIALES

Considerando la categoría de tráfico T31 establecida para el nuevo vial, las secciones de firme incluidas en la Norma 6.1-IC para dicha categoría de tráfico y una explanada tipo E2 son las siguientes:

Sección tipo 3121	16 cm de MBC + 40 cm de ZA
Sección tipo 3122	12 cm de MBC + 30 cm de SC
Sección tipo 3124	21 cm de HF + 25 cm de ZA

Se descarta como solución las secciones tipo de hormigón, además de por criterios de homogeneización del recorrido, porque es una tipología que en ningún caso se ha utilizado en la zona que define el ámbito del Proyecto.

Para la elección de espesores y tipos de mezclas bituminosas se ha seguido lo recogido en la tabla 6 de la Norma 6.1-IC Secciones de firme, en su actualización realizada por la Orden Circular 1/2023 de la DGC, y en el artículo 542 del PG3.

En el caso de los arcones, se ha optado por la prolongación de todas las capas, manteniendo la misma sección tipo, ya que se ha considerado la posible circulación por los mismos de vehículos agrícolas.

Por la limitación de espesores máximos impuesta a cada capa en el PG3 y la OC 1/2023, para la capa de rodadura se ha seleccionado una mezcla bituminosa en caliente tipo AC22 surf S. Esta mezcla presenta unas características satisfactorias, tanto para el tipo de vial a ejecutar, como para la glorieta sobre la N-547 (en la que no es conveniente la disposición de mezclas discontinuas).

Para la capa intermedia se ha seleccionado una mezcla bituminosa en caliente tipo densa (D) y para la capa de base, necesaria en la sección de la glorieta sobre la N-547, una mezcla bituminosa en caliente tipo G.

El betún a emplear en cada una de las capas será preferentemente el betún asfáltico B 50/70. Para que el empleo de betunes con caucho sea técnicamente viable en la obra se deberá comprobar que cumplen con las condiciones establecidas en el apartado 2 de la Orden Circular 21/2007 Sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU). También podrá aplicarse lo recogido en la Nota Técnica 02/2020 Sustitución de un betún mejorado con caucho (BC) por la combinación de un betún de penetración y un aditivo de caucho en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente, otorgando flexibilidad para su posible sustitución en obra, en caso de que se presentaran problemas en la fabricación o ejecución, por betunes de penetración con aditivo de caucho.

En el caso de los riegos, se emplearán los tipos y dotaciones recogidas a continuación:

Rodadura - Intermedia: un riego de adherencia con emulsión termoadherente C60B3 TER con una dotación de 0,5 kg/m².

Intermedia - Base: un riego de adherencia con emulsión C60B3 ADH con una dotación de 0,5 kg/m².

Base - Subbase ZA: sobre la zahorra, un riego de imprimación con una emulsión C60BF4 IMP con una dotación de 1,0 kg/m².

Base - Subbase SEST con cemento: sobre el suelo estabilizado con conglomerante hidráulico, un riego de curado con emulsión C60B3 CUR con una dotación de 0,8 kg/m².

4.2. CONSIDERACIONES TÉCNICAS

Como se ha comentado anteriormente, los firmes de hormigón se descartan debido a que no es un firme utilizado en las secciones existentes contiguas. Además, presenta las desventajas de ser un firme muy ruidoso, y el que precisa equipos con una maquinaria y una experiencia muy específica, lo cual limita el abanico de posibles contratistas.

Las soluciones con gravacemento también se descartan, dado que presentan problemas graves de fisuración si no se realiza una puesta en obra muy cuidadosa.

Así, quedan las secciones tipo con zahorras y con suelo cemento. La sección tipo de zahorra presenta la gran ventaja de que existe un suministro abundante en las inmediaciones de la actuación, por lo que será la que se utilice en la actuación.

4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO

Se procede a continuación a realizar un análisis económico comparativo entre las secciones 3121 y 3122 descritas anteriormente, dispuestas sobre la explanada E2 formada según el estudio incluido anteriormente.

Teniendo en cuenta lo recogido en la Norma 6.1-IC Secciones de firme respecto a espesores de capa (tabla 6), las secciones finalmente establecidas para hacer el análisis son las siguientes:

	SECCIÓN 3121	SECCIÓN 3122
Rodadura	6 cm de AC22 surf S (S-20)	5 cm de AC22 surf S (S-20)
Intermedia	10 cm de AC22 bin D (D-20)	7 cm de AC22 bin D (D-20)
Subbase	40 cm de zahorra artificial(*)	30 cm de suelocemento(**)
Explanada	E2 (**)	E2 (**)

(*) Se dispondrá cumpliendo las limitaciones de espesores recogidos en la tabla 5 de la Norma 6.1-IC

(**) Según apartado 2.2 del presente anejo.

En cuanto a las mezclas bituminosas y subbases, las densidades y dotaciones consideradas para realizar el análisis comparativo son las siguientes:

MEZCLAS	Dotación ligante/cemento (%)	Relación filler/betún	Densidad material (t/m ³)
AC22 surf S	4,80	1,2	2,35
AC22 bin D	4,50	1,1	2,32
SUELO-CEMENTO	4,50	---	2,10

Las dotaciones consideradas en los riegos asfálticos son las descritas en el punto anterior, las cuales se recogen a modo de resumen en la tabla siguiente.

RIEGOS	Dotación de emulsión (kg/m ²)
Riego de adherencia C60B3 ADH	0,5
Riego de curado C60B3 CUR	0,8
Riego de imprimación C60BF4 IMP	1,0

Finalmente, en la tabla siguiente recogemos los precios unitarios de las unidades de obra necesarias para realizar el análisis comparativo. Destacar que estos precios no tienen carácter contractual, estableciéndolos únicamente para realizar la presente comparativa.

UD	UNIDAD DE OBRA	PRECIO (€)
t	M.B.C. AC22 surf S	30,21
t	M.B.C. AC22 bin D	29,45
t	Cemento / polvo mineral de aportación	106,00
t	Betún PMB 45/80-60	773,80
t	Betún asfáltico B 50/70	689,00
t	Riego de adherencia C60B3 ADH	624,16
t	Riego de curado C60B3 CUR	624,16
t	Riego de imprimación C60BF4 IMP	526,42
m ³	Suelo-cemento	28,08
m ³	Zahorra artificial	26,78
m ³	Terraplén	1,10

El coste de la formación de la explanada según los distintos tipos de apoyo, no se incluye en la siguiente comparativa por ser un incremento constante para ambas secciones de firme.

Con estos precios se ha obtenido el coste de construcción por metro cuadrado de las dos secciones tipo analizadas en el caso de desmonte y de terraplén, cuyo resumen se recoge en las tablas siguientes.

SECCIÓN TIPO 3121 (16 MBC - 40 Zahorra artificial)			
UD	UNIDAD	MEDICIÓN	COSTE
t	M.B.C. AC22 surf S	0,1175	3,60
t	M.B.C. AC22 bin D	0,2109	6,21
t	Cemento / polvo mineral de aportación	0,0183	1,94
t	Betún PMB 45/80-60	0,0054	4,18
t	Betún asfáltico B 50/70	0,0107	7,37
t	Riego de adherencia C60B3 ADH	0,0005	0,31
t	Riego de curado C60B3 CUR	---	---
t	Riego de imprimación C60BF4 IMP	0,0010	0,53
m ³	Suelo-cemento	---	---
m ³	Zahorra artificial	0,35	9,37
m ³	Terraplén	---	---
			33,51 €/m²

SECCIÓN TIPO 3122 (12 MBC - 30 Suelo-cemento)			
UD	UNIDAD	MEDICIÓN	COSTE
t	M.B.C. AC22 surf S	0,1175	3,60
t	M.B.C. AC22 bin D	0,116	3,42
t	Cemento / polvo mineral de aportación	0,0409	4,34
t	Betún PMB 45/80-60	0,0054	4,18
t	Betún asfáltico B 50/70	0,0054	3,72
t	Riego de adherencia C60B3 ADH (2 riegos)	0,0010	0,62
t	Riego de curado C60B3CUR	0,0008	0,50
t	Riego de imprimación C60BF4 IMP	---	---
m ³	Suelo-cemento	0,3	8,42
m ³	Zahorra artificial	---	---
m ³	Terraplén	0,1	0,11
			28,91 €/m²

En cuanto a los costes de conservación, y dado que se comparan secciones de firme semiflexibles y semirrígidas donde el periodo de análisis, valor de K y tasas de actualización son constantes, los gastos de conservación serán proporcionales al coste de construcción recogido en la tabla anterior.

Teniendo en cuenta la práctica habitual en las rehabilitaciones de firmes de carreteras, se plantea una actuación a los 10 años de la puesta en servicio y otra a los 20 años. Se propone, para la primera actuación a los 10 años, el fresado y la reposición de los 6 cm de la capa de rodadura y para la segunda, a los 20 años, el extendido de una nueva capa de rodadura de 6 cm.

En el planteamiento anterior se está asumiendo implícitamente que los costes de rehabilitación son independientes de los materiales que formen las capas inferiores del paquete de firme, lo cual a priori puede parecer una hipótesis equivocada. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el comportamiento y la evolución del firme va a depender no solo de los materiales diseñados en la fase de proyecto, sino de otros aspectos como la calidad de la puesta en obra y la humedad de la explanada, que estará relacionada a su vez con el drenaje de la vía y la impermeabilización de las capas superiores que impidan la infiltración del agua. Por tanto, el comportamiento futuro del firme dependerá de su correcta ejecución (calidad de los materiales y su puesta en obra -compactación y humedad) y del mantenimiento futuro de la vía (evacuación de agua de la superficie de rodadura, mantenimiento de condiciones de funcionamiento del drenaje longitudinal y transversal, sellado de fisuras, etc.).

No parece lógico plantear a nivel de proyecto un estudio económico en el que influyan variables asociadas al modo de ejecución o al correcto mantenimiento o no de la

infraestructura. Por el contrario, la hipótesis que se plantea es que ambas subbases, aunque diferentes, se ejecutarán correctamente y que en el futuro el mantenimiento de la infraestructura es el correcto y adecuado para evitar la afección a su comportamiento, con lo que podemos estimar que a medio plazo sus condiciones no habrán sufrido alteraciones significativas y, por tanto, no tendrán influencia económica en la comparativa.

Por tanto, para las secciones analizadas los costes de rehabilitación serán los mismos, dado que ambas presentan la misma capa de rodadura.

Así, del análisis económico comparativo se deduce que la suma de los costes de conservación y rehabilitación en los firmes con mezclas bituminosas son prácticamente proporcionales a su coste de construcción, con una variación porcentual escasa.

Como resultado del análisis económico anterior realizado, debemos concluir que la sección 3122, compuesta por 12 cm de MBC y 30 cm de suelocemento, es económicamente más favorable que la sección 3121, considerando en ambas la misma tipología de explanada, presentando aprox. un coste un 11,99% menor.

4.4. SECCIÓN TIPO SELECCIONADA

En el análisis económico comparativo entre las secciones 3121 con zahorra y 3122 con suelocemento, se obtiene que esta última es más económica.

Sin embargo, en este análisis no se han considerado otros aspectos particulares de la obra que penalizan la solución de suelocemento frente a la de zahorra.

Al aprovechar un vial existente, será necesario el mantenimiento de la circulación de los vehículos durante la ejecución de las obras. Según el artículo 513 del PG-3, una vez ejecutada la capa de suelocemento, “se prohibirá la circulación de todo tipo de vehículos sobre las capas recién ejecutadas, al menos durante los tres días (3 d) siguientes a su terminación, y durante siete días (7 d) a los vehículos pesados”. Este hecho, en el caso de proyectar una solución con suelocemento, haría necesario durante las obras la ejecución de desvíos de tráfico, con el consiguiente sobrecoste, no contemplado en el caso de capas de zahorra.

Por otro lado, los volúmenes a ejecutar son pequeños, por lo que no parece razonable la instalación en obra de una planta de fabricación de suelocemento. Este hecho, acentuado por la existencia de zahorras en la cantera anexa a la obra, hace que los precios empleados en el análisis (precios de la OC37/2016, Base de Precios de la DGC) no reflejen la realidad, habiendo más diferencia entre ellos a favor de la zahorra.

Otros factores considerados favorables a la subbase de zahorra han sido:

- El firme actual de la carretera N-547 presenta subbase granular, por lo que parece razonable que actuaciones sobre la misma mantengan esta misma tipología.
- La zahorra artificial ya se emplea en otras unidades del proyecto (como bermas o caminos).
- Atendiendo a aspectos constructivos, las capas de zahorra presentan una ejecución más sencilla frente a las de suelocemento.

Por tanto, y atendiendo a estos aspectos particulares de la obra, se seleccionan para el presente proyecto las secciones tipo con zahorra artificial, optando por la **sección tipo 3121 para el nuevo vial** y la **sección tipo 221 para la glorieta y viales sobre la N-547**.

En los estribos del paso superior que da continuidad a la carretera LU-P-4001 será necesaria la reposición del firme de la carretera que resulte afectado por la ejecución de los estribos, con una sección 4121 acorde a los requisitos marcados por la Diputación de Lugo. Así, la sección proyectada para esta reposición está formada por una capa tipo AC22 bin B 50/70 D de 5 cm espesor en los estribos y de 3 cm en el tablero de la estructura (para regularización) sobre la cual se dispondrá la de rodadura de 4 cm de espesor tipo AC16 surf B 50/70 S.

4.5. SECCIONES DE FIRME DISPUESTAS

A continuación, se recogen todas las secciones de firme dispuestas.

TRONCO Calzada y arcenes		
Sección 3121		
Rodadura	AC22 surf B 50/70 S	6 cm
Riego	C60B3 TER	0,5 kg/m ²
Intermedia	AC22 bin B 50/70 D	10 cm
Riego	---	---
Base	---	---
Riego	C60BF4 IMP	1,0 kg/m ²
Subbase	Zahorra artificial	40 cm

GLORIETA Calzada y arcenes			CARRETERA N-547 Calzada y arcenes		
Sección 221			Sección 221		
Rodadura	AC16 surf PMB 45/80-60 S	5 cm	AC16 surf PMB 45/80-60 S	5 cm	
Riego	C60B3 TER	0,5 kg/m ²	C60B3 TER	0,5 kg/m ²	
Intermedia	AC22 bin B 50/70 D	7 cm	AC22 bin B 50/70 D	7 cm	
Riego	C60B3 ADH	0,5 kg/m ²	C60B3 ADH	0,5 kg/m ²	
Base	AC32 base B 50/70 S	13 cm	AC32 base B 50/70 S	13 cm	
Riego	C60BF4 IMP	1,0 kg/m ²	C60BF4 IMP	1,0 kg/m ²	
Subbase	Zahorra artificial	25 cm	Zahorra artificial	25 cm	

ENTRONQUE con glorieta de REPOSICIÓN CAMINO N-547 Viales			CAMINOS Viales	
Sección 4214			---	
Rodadura	HF-4,5	18 cm	Zahorra artificial ⁽¹⁾	30 cm
Riego	---	---	---	---
Intermedia	---	---	---	---
Riego	---	---	---	---
Base	---	---	Suelo adecuado	30 cm
Subbase	Zahorra artificial	20 cm	---	---

(1) En los caminos paralelos M.D. y M.I. y en la conexión con el camino paralelo M.D. (ver Documento nº2 Planos) se dispondrá sobre la ZA un doble tratamiento superficial.

LU-P-4001 Estructura – Estribos			LU-P-4001 Estructura – zona vehículos	
Sección 4121			---	
Rodadura	AC16 surf B 50/70 S	4 cm	AC16 surf B 50/70 S	4 cm
Riego	C60B3 TER	0,5 kg/m ²	C60B3 TER	0,5 kg/m ²
Intermedia	AC22 bin B 50/70 D	5 cm	AC22 bin B 50/70 D (regularización)	3 cm
Riego	C60BF4 IMP	1,0 kg/m ²	C60B3 ADH	0,5 kg/m ²
Base	---	---	---	---
Subbase	Zahorra artificial	30 cm	---	---

5.- PAVIMENTOS

El interior de la glorieta de la N-547 se rellenará con tierra vegetal y se delimitará con bordillos de hormigón prefabricado remontable de 20 cm de ancho y chaflán de 10 cm de altura.

El interior de las isletas se rellenará con hormigón en masa tipo C20/25 y se delimitará con bordillo de hormigón prefabricado de 17 cm de ancho y chaflán de 14 cm de altura.

En ambos casos, los bordillos se cimentarán sobre un refuerzo de hormigón C20/25 y mortero de asiento.

En la zona de paso peatonal del paso superior se dispondrá, una vez impermeabilizado el tablero, baldosa hidráulica sobre mortero de agarre, que acentúe el uso peatonal de esta zona. La baldosa a disponer será baldosa hidráulica con acabado rústico antideslizante, de dimensiones 40x40x4cm.

6.- SISTEMA CONSTRUCTIVO DE LOS VIALES

Los puntos en los cuales los nuevos viales proyectados se superponen o conectan lateralmente con los existentes son en los accesos este y oeste a la glorieta de la N-547. En el acceso oeste, del PK. 0+000 al 0+040 se produce un ensanche por ambos márgenes, si bien por la margen derecha, según el sentido de pk crecientes, afecta únicamente a la zona de berma. En el resto del acceso oeste, del PK. 0+040 al 0+100 la carretera transcurre al mismo nivel y se demuele el firme y la explanada actual para construir un nuevo paquete de firme y explanada. En el Anejo nº 14 - Soluciones propuestas al tráfico durante la ejecución de las obras, se indica la forma de ejecutarlo por fases, con tráfico alternativo.

Por su parte, en todo el acceso este (del PK. 0+000 al 0+040) la carretera transcurre al mismo nivel y la actuación es similar a la de la zona oeste: se demuele el firme y la explanada actual para construir un nuevo paquete de firme y explanada.

Cabe poner de manifiesto que se ha adoptado base granular de zahorra artificial, además de por su abundancia en la zona, para facilitar el drenaje del firme antiguo.

Se definen las longitudes del escalonado entre capas teniendo en cuenta la tabla 7 de la Norma 6.1-IC. Se colocará una lámina geotextil antifisuras (Stress Absorbing Membrane Interlayer) para mejorar la transmisión de esfuerzos cortantes entre las capas existentes y las nuevas a ejecutar, según la norma 6.3 Rehabilitación de Firmes, punto 12.3. Ampliación de la sección transversal.

Propiedades	Norma	Unidad	Geotesan CR-17
Punto de fusión		°C	165
Resistencia a tracción	UNE EN ISO 10319	KN/m	9,2/10,1
Elongación	UNE EN ISO 10319	%	55/60
Espesor bajo 2 Kpa	EN ISO 9863/1	mm	1,39
Masa	EN ISO 9864	g/m ²	140

El geotextil será del tipo Geotexan antifisura CR-17, tejido con filamentos 100x100 de polipropileno unidos por proceso de agujeteado. El geotextil se impregnará con betún modificado (emulsiones de alta concentración y viscosidad y velocidad de rotura rápida).