

ANEJO 8. FIRMES Y PAVIMENTOS

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
2.	NORMATIVA EMPLEADA.....	5
3.	DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME.....	5
3.1.	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	5
3.2.	FORMACIÓN Y CATEGORÍA DE EXPLANADA	6
3.3.	DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME	9
3.4.	MATERIALES DEL FIRME.....	11
3.4.1.	MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE	11
3.4.2.	RIEGO DE IMPRIMACIÓN	14
3.4.3.	RIEGO DE ADHERENCIA	14
3.4.4.	SUBBASES GRANULARES	15
APÉNDICE	Nº1.- ESTUDIO ECONÓMICO ALTERNATIVAS DE EXPLANADA+FIRME	17

1. INTRODUCCIÓN

El presente Anejo aborda el dimensionamiento de las secciones de firme que se requieren en los diferentes viales del Proyecto, tomando para ello como referencia el volumen de tráfico estimado en el “Estudio de Movilidad y Tráfico” que puede consultarse en el anejo nº7 del proyecto y las conclusiones extraídas del “Estudio Geológico y Geotécnico” relativas a la formación de rellenos y a la categoría de la explanada.

Las soluciones adoptadas se detallan en los apartados siguientes y se representan gráficamente en los planos del Documento nº 2.

2. NORMATIVA EMPLEADA

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

- Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana (enero 2009)
- Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3/75).
- Norma 6.1 - I.C. "Secciones de Firmes" de la Instrucción de Carreteras, de la Dirección General de Carreteras (ORDEN FOM / 3460 / 2003 de 28 de noviembre).
- Orden FOM/2523/2014, de 12 de diciembre, por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a materiales básicos, a firmes y pavimentos, y a señalización, balizamiento y sistemas de contención de vehículos.

3. DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME

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

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

Para dimensionar el firme que cumpla dichas condiciones se atiende al procedimiento contenido en la Norma de Firmes de la Comunidad Valenciana basado en la categoría de tráfico pesado asociada al año de puesta en servicio y al carril de proyecto y a la categoría de explanada sobre la que se dispondrá dicho firme.

3.1. CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO

Según la “Norma de Firmes de la Comunidad Valenciana”, a efectos del dimensionamiento de la sección de firme, el nivel de solicitaciones de tráfico pesado (previsto durante la vida útil de la carretera) se expresa mediante la categoría de tráfico pesado. Para la definición de esta categoría, se debe emplear la información disponible al respecto referida a **la Intensidad media diaria de vehículos pesados en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio (IMDp)**.

Las categorías consideradas para tal fin se resumen en la tabla siguiente:

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

Por tanto, para la determinación de la categoría correspondiente a cada vial es necesaria la estimación en términos de valores medios diarios, del tráfico pesado que previsiblemente hará uso de cada uno de ellos.

Para ello, de acuerdo con los aforos realizados y con los valores de intensidad horaria obtenidos y expresados en el Anejo correspondiente al estudio de tráfico de este proyecto, las intensidades medias diarias de tráfico (IMD) y de tráfico pesado (IMDp) estimadas para la nueva vía de acceso a Carcaixent son las siguientes:

HORIZONTES TEMPORALES CONSIDERADOS	TASAS DE CRECIMIENTO EMPLEADAS EN EL ESTUDIO
Año 2027. Puesta en servicio.	2022 – 2027 : 2,5% anual
Año horizonte 2037. A los 10 años de la puesta en servicio.	2027 – 2032 : 2,5% anual 2032 – 2037 : 2,0% anual
Año horizonte 2047. A los 20 años de la puesta en servicio.	2037 – 2042 : 2,0% anual 2042 – 2047 : 1,44% anual

Resultando entonces las siguientes intensidades medias diarias:

HORIZONTES TEMPORALES CONSIDERADOS	IMD por tramos
Año 2027. Puesta en servicio.	TRAMO 1 (EJES 1 Y 2): 8.116 vh/día
	TRAMO 2 (EJE-3): 10.561 vh/día
Año horizonte 2037. A los 10 años de la puesta en servicio.	TRAMO 1 (EJES 1 Y 2): 10.138 vh/día
	TRAMO 2 (EJE-3): 13.192 vh/día
Año horizonte 2047. A los 20 años de la puesta en servicio.	TRAMO 1 (EJES 1 Y 2): 12.022 vh/día
	TRAMO 2 (EJE-3): 15.644 vh/día

A efectos de dimensionamiento del firme, de acuerdo con los aforos realizados y adoptando un % de pesados del 6%, la IMD de pesados resultaría para esos mismos horizontes temporales la siguiente:

HORIZONTES TEMPORALES CONSIDERADOS	IMDp por tramos
Año 2027. Puesta en servicio.	TRAMO 1 (EJES 1 Y 2): 487 vhp/día
	TRAMO 2 (EJE-3): 634 vhp/día
Año horizonte 2037. A los 10 años de la puesta en servicio.	TRAMO 1 (EJES 1 Y 2): 608 vhp/día
	TRAMO 2 (EJE-3): 792 vhp/día
Año horizonte 2047. A los 20 años de la puesta en servicio.	TRAMO 1 (EJES 1 Y 2): 721 vhp/día
	TRAMO 2 (EJE-3): 939 vhp/día

Supuesta una distribución razonable equilibrada en el conjunto del día 50/50, la IMDp en el carril de proyecto resultaría entonces:

HORIZONTES TEMPORALES CONSIDERADOS	IMDp en el carril de proyecto por tramos
Año 2027. Puesta en servicio.	TRAMO 1 (EJES 1 Y 2): 244 vhp/día/c
	TRAMO 2 (EJE-3): 317 vhp/día/c
Año horizonte 2037. A los 10 años de la puesta en servicio.	TRAMO 1 (EJES 1 Y 2): 304 vhp/día/c
	TRAMO 2 (EJE-3): 396 vhp/día/c
Año horizonte 2047. A los 20 años de la puesta en servicio.	TRAMO 1 (EJES 1 Y 2): 361 vhp/día/c
	TRAMO 2 (EJE-3): 470 vhp/día/c

Respecto a las intersecciones, la glorieta 1 se dimensionará con la carga de tráfico correspondiente al tramo 1, mientras que las glorietas 2 y 3 lo harán con la carga de tráfico pesado correspondiente al tramo 2.

De acuerdo con la Norma de Firmes de la Comunidad Valenciana, atendiendo a los valores correspondientes al año de puesta en servicio, las categorías de tráfico pesado correspondientes a cada eje son las siguientes:

EJE	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO
EJE-1	T22
EJE-2	T22
EJE-3	T22
GLORIETA-1	T22
GLORIETA-2	T22
GLORIETA-3	T22

Por su parte, los caminos de servicio se disponen a pie de explanación y comparten función con el uso peatonal y ciclista en ciertos tramos, por lo que deben disponer de un firme dimensionado para ello. Habida cuenta del tipo de cultivos y la ausencia de instalaciones específicas presentes en la zona, en estos tramos se considera adecuado establecer una categoría de tráfico pesado equivalente a la mínima contemplada en la Norma T42 (<20 veh.p./día).

3.2. FORMACIÓN Y CATEGORÍA DE EXPLANADA

Se denomina explanada a la superficie de apoyo del firme y que por tanto, ejerce sus funciones como cimiento del mismo. Este cimiento puede estar constituido en general por

los propios suelos de la traza, por un suelo de aportación o, al menos en su parte superior, por un suelo estabilizado in situ.

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

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

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

A los efectos del dimensionamiento de los firmes y en concreto para la caracterización de la explanada, la *Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana* establece 4 tipologías posibles, denominadas E1, E2, E3 y E4, determinadas según el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (E_{v2}), obtenido de acuerdo con el ensayo de carga con placa (NLT-257).

- **E1:** $E_{v2} \geq 50$ MPa.
- **E2:** $E_{v2} \geq 100$ MPa.
- **E3:** $E_{v2} \geq 225$ MPa.
- **E4:** $E_{v2} \geq 425$ MPa.

Se consideran seis tipos de materiales naturales, según las características definidas en el artículo 330 del PG-3:

IN: Suelos inadecuados o marginales.

0: Suelos tolerables (con $CBR \geq 3$).

1: Suelos adecuados (con $CBR \geq 5$, excepto cuando se dispongan en la capa superior de las empleadas en la formación de las explanadas, en cuyo caso deberán tener $CBR \geq 6$).

2: Suelos seleccionados (con $CBR \geq 10$, excepto cuando se dispongan en la capa superior de las empleadas en la formación de las explanadas de categoría E2, en cuyo caso deberán tener $CBR \geq 12$).

3: Suelos seleccionados (con $CBR \geq 20$, excepto cuando se dispongan en la capa superior de las empleadas en la formación de las explanadas de categoría E3, en cuyo caso deberán tener $CBR \geq 30$).

R: Roca

TABLA 4. MATERIALES PARA LA FORMACIÓN DE LAS EXPLANADAS

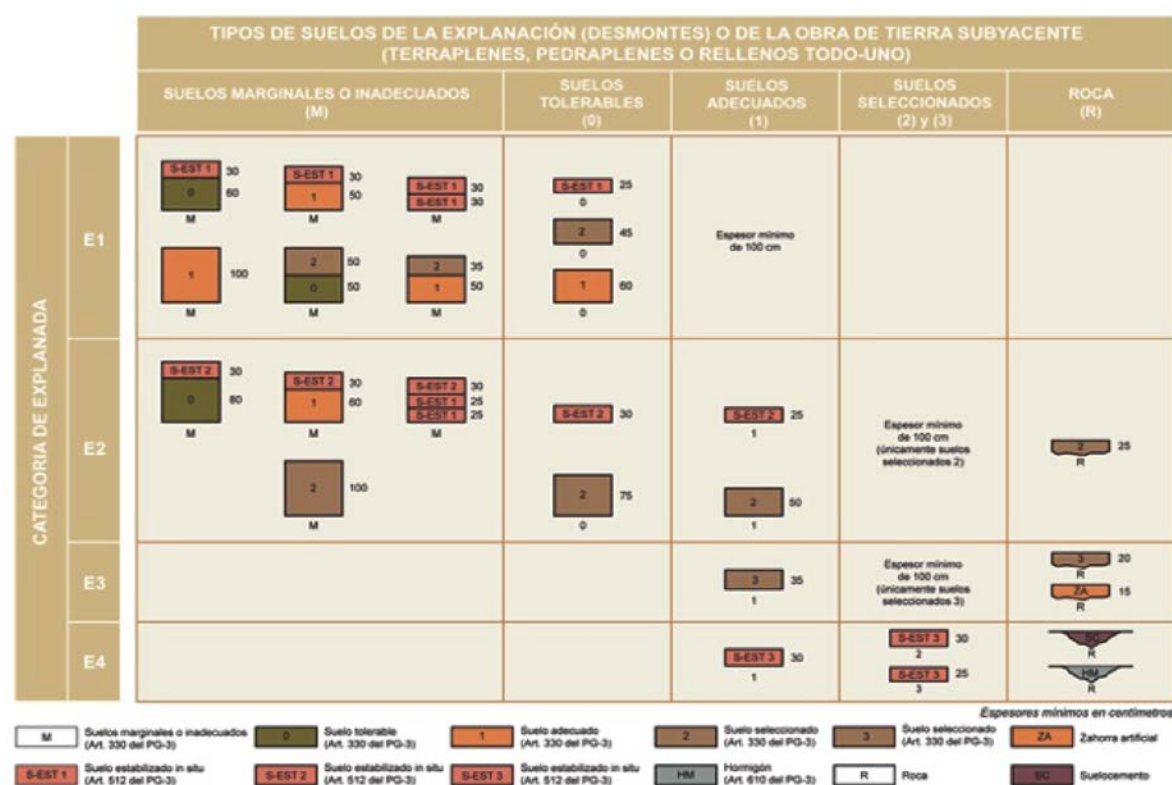
SÍMBOLO	DEFINICIÓN DEL MATERIAL	ARTÍCULO DEL PG-3	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
IN	Suelo inadecuado o Marginal	330	- Su empleo sólo será posible si se estabiliza con cal o con cemento para conseguir S-EST1 o S-EST2.
0	Suelo tolerable	330	- $CBR \geq 3$ (*). - Contenido en materia orgánica < 1%. - Contenido en sulfatos solubles (SO_3) < 1%. - Hinchamiento libre < 1%.
1	Suelo adecuado	330	- $CBR \geq 5$ (*)(**).
2	Suelo seleccionado	330	- $CBR \geq 10$ (*) (**).
3	Suelo seleccionado	330	- $CBR \geq 20$ (*)
S-EST1 S-EST2 S-EST3	Suelo estabilizado in situ con cemento o con cal	512	- Espesor mínimo: 25 cm. - Espesor máximo: 30 cm.

Asimismo, se consideran tres tipos de materiales estabilizados, según las características definidas en el artículo 512 del PG-3 del MFOM:

- S-EST1: Suelos estabilizados in situ con cal o con cemento (con $CBR \geq 6$ a los 7 días, y un mínimo del 2,0 % de cal o de cemento).
- S-EST2: Suelos estabilizados in situ con cal o con cemento (con $CBR \geq 12$ a los 7 días, y un mínimo del 3,0 % de cal o de cemento).
- S-EST3: Suelos estabilizados in situ con cemento (con una resistencia a compresión simple de al menos 1,5 MPa a los 7 días, y un mínimo del 3,0 % de cemento).

Se define como suelo estabilizado in situ la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con cemento y eventualmente, agua, en la propia traza de la carretera, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua del suelo o aumentar su resistencia para su uso en la formación de explanadas.

En la figura que se muestra a continuación pueden observarse las distintas posibilidades de formación de explanadas (el espesor mínimo considerado de un suelo determinado en el terreno subyacente es de 1 m) recogidas en la *Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana*. Los valores se presentan en cm.



Se remite desde aquí al Apéndice nº1 del presente Anejo en el que se incluye un estudio económico preliminar de las diferentes alternativas del binomio firme+explanada, según la normativa de firmes autonómica para la categoría de tráfico pesado T22, contando para ello con un suelo tolerable sobre el que asentar la explanada.

El estudio incluye, sin perjuicio de las consideraciones de aplicación al caso concreto que se formulan en párrafos sucesivos, alternativas de explanada constituidas, tanto por materiales granulares, como por materiales tratados con cemento.

Para los materiales granulares procedentes de préstamo, se ha considerado una distancia media de transporte adicional a la incluida en las unidades correspondientes de 20 km. A expensas de futuros estudios de mayor detalle y más próximos en el tiempo al momento de ejecución de las obras, se considera razonable la hipótesis asumida para estimar los costes por transporte adicional, máxime cuando se ha comprobado cómo los resultados obtenidos en el estudio comparativo no varían de forma significativa al aumentar la distancia de transporte.

En todos los casos, la configuración analizada obedece a la más representativa en el conjunto de la actuación, no analizándose por consiguiente el caso de desmontes.

Ya sea sobre el suelo tolerable existente o sobre rellenos de idéntica naturaleza, se consideran por lo tanto las siguientes opciones de explanada:

EXPLANADA		e (cm)	
E1	E1a	S-EST1	25
	E1b	Seleccionado 2	45
	E1c	Adecuado	60
E2	E2a	S-EST2	30
	E2b	Seleccionado 2	75

A los efectos de aplicación de la norma, los pedraplenes (artículo 331 del PG-3) y los rellenos todo-uno (artículo 333 del PG-3), salvo que se proyecten con materiales marginales de los definidos en el artículo 330 del PG-3, serán asimilables a los suelos tipo 3.

De las conclusiones del Estudio Geológico-Geotécnico, se deduce la existencia de un suelo tolerable sobre el que asentar la traza de los viales proyectados.

Tras realizar el estudio económico del binomio firme+explanada, se concluye que las soluciones más ventajosas desde el punto de vista exclusivamente económico obedecen a las que se apoyan en una explanada E2, frente a las soluciones con explanada E1.

Teniendo en cuenta el tipo de actuación y los materiales sobre los que debe asentarse la vía y su deformabilidad, así como la carga de tráfico pesado a soportar, se descarta a priori el empleo de suelos tratados con cemento, prefiriéndose las capas conformadas por

material granular, tanto para la formación de la explanada, como para la formación de las capas inferiores del paquete de firme. Las posibles ventajas que proporciona la estabilización "in situ" del material subyacente en el fondo de la excavación, se desvanecen cuando la rasante se diseña ligeramente por encima del terreno y debe recurrirse a la aportación de material adicional para conformar la cara inferior de esa explanada.

Por consiguiente, la opción más ventajosa (en combinación con el paquete de firme que se define en el apartado 3.3, y considerando un "paquete equivalente" de 1,27 m de igual espesor para todas las soluciones), resulta ser la denominada como E2b, que presenta las siguientes características:

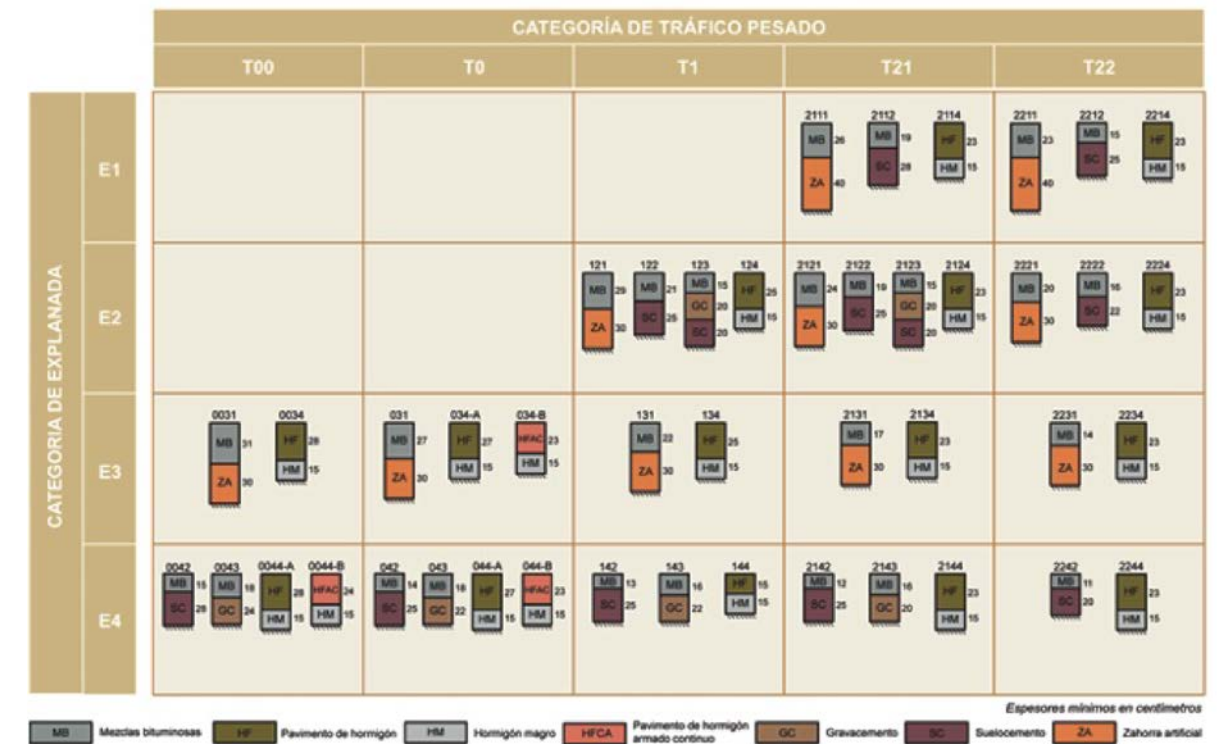
Categoría de Explanada	Módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (E_{v2})	Material	Espesor (cm)
E2	≥ 100 MPa	Suelo seleccionado Tipo 2	75

3.3. DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME

Para el dimensionamiento de la sección completa, la *Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana* proporciona las directrices necesarias, presentando las posibles soluciones de referencia en un catálogo de secciones de firme que han sido dimensionadas con criterios analíticos y empíricos.

Todos los espesores de capa indicados se consideran mínimos en cualquier punto de la sección transversal. Cada sección se designa por un código de cuatro (o tres) dígitos:

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



El estudio económico que se incluye en el Apéndice nº1 de este Anejo, analiza las diferentes combinaciones de explanada y firme que resultan posibles para la categoría de tráfico pesado T22 y la existencia de un suelo tolerable sobre el que disponer la explanada.

Por motivos similares a los recogidos al hablar de la explanada, relacionadas fundamentalmente con el hecho de que las capas granulares se adaptan mejor a posibles deformaciones del material de apoyo de los rellenos y también con la carga de tráfico pesado estimada, en las alternativas de firme se han descartado directamente las opciones de firmes con base de suelo cemento. Por estas y otras cuestiones, se excluyen asimismo los firmes de hormigón, debido al inconveniente de ser ruidoso, y por tanto, presentar mayor incidencia ambiental. El uso de firmes rígidos actualmente se destina a vías donde se busca una gran durabilidad ante un volumen de tráfico considerable y con rellenos dispuestos sobre terrenos de mayor estabilidad.

A pesar de no ajustarse estrictamente al criterio recogido en la norma de firmes autonómica para la categoría de explanada E2, por el que sobre explanadas estabilizadas se considera preferible disponer subbases de suelocemento, en el presente estudio sí se

han analizado combinaciones de explanadas estabilizadas con firmes *Tipo 1* con subbase granular.

Como ya se adelantó en epígrafes precedentes, el estudio económico permite identificar las combinaciones de explanada y firme que resultan más ventajosas desde el exclusivo punto de vista de sus costes de construcción. Debido a la volatilidad actual de los precios de las materias primas, con importantes oscilaciones en intervalos reducidos de tiempo, a expensas de futuros estudios de mayor detalle y más próximos en el tiempo al momento de ejecución de las obras, se asume la simplificación que supone no incluir en el análisis los costes de mantenimiento, que sin embargo, sí deberán ser considerados en durante la redacción del correspondiente proyecto de construcción, momento en el que se presupone que se habrá alcanzado una mayor estabilidad de precios.

Para que las diferentes opciones pueden ser comparables, se ha considerado un paquete equivalente de espesor igual al máximo de entre las diferentes alternativas (127 cm).

Así, las soluciones de firme consideradas en el análisis se corresponden con las de la tabla anexa:

FIRME	TIPO	MB	ZA	SC	espesor total (m)
2211	1	23+2	40	0	0,65
2221	1	20+2	30	0	0,52

Las soluciones de firme anteriores se combinan con las correspondientes de explanada del siguiente modo, según criterios descritos en anteriores epígrafes:

EXPLANADA	FIRME	e (m) EXPLANADA	e (m) FIRME	e (m) TOTAL	Todo uno de cantera hasta completar el paquete equivalente (m)	
E1a	S-EST1	2211 BBTM	0,25	0,65	0,90	0,37
		2211 AC22	0,25	0,65	0,90	0,37
E1b	Seleccionado 2	2211 BBTM	0,45	0,65	1,10	0,17
		2211 AC22	0,45	0,65	1,10	0,17
E1c	Adecuado	2211 BBTM	0,60	0,65	1,25	0,02
		2211 AC22	0,60	0,65	1,25	0,02
E2a	S-EST2	2221 BBTM	0,30	0,52	0,82	0,45
		2221 AC22	0,30	0,52	0,82	0,45
E2b	Seleccionado 2	2221 BBTM	0,75	0,52	1,27	0,00
		2221 AC22	0,75	0,52	1,27	0,00

Como se deduce de la tabla anterior, y aunque se descarta a priori utilizar rodadura de tipo BBTM, por no resultar ésta de aplicación a las glorietas, y haber preferido diseñar una solución lo más homogénea posible en el conjunto de la actuación, el estudio económico sí recoge dicha posibilidad para así disponer de un orden de magnitud aproximado del coste de ambas opciones de rodadura (AC22 SURF S o BBTM). Del estudio puede concluirse que las diferencias entre ambas no resultan significativas.

Los espesores adoptados para las diferentes capas de firme se ajustan a lo establecido en la tabla 15 de la Norma de Firmes autonómica (se adjunta seguidamente).

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		5-10	
	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		7-15	
	AC 32 base G			
	AC 22 base 15/25 AM	7-13		

Tabla 15. Espesores de las capas de mezcla bituminosa.

De los resultados del estudio económico incluido en el Apéndice nº1, y habiendo descartado el empleo de materiales tratados con cemento por los motivos expuestos con anterioridad, se deduce que la opción de firme más económica (en combinación con la explanada descrita en 3.2), se corresponde con la denominada como **2221**, formada por 20+2 cm de MB + 30 cm de ZA.

Los resultados obtenidos en el presente estudio técnico-económico deberán ser corroborados en futuras fases de trabajo mediante nuevos análisis que reflejen la situación de precios futura (máxime considerando la coyuntura actual) y la localización de canteras y plantas de suministro.

De acuerdo con lo establecido en la Norma para secciones de firme de categorías T22 a T31, el firme en los arcenes de los ejes 1, 2 y 3 y exteriores de glorietas estará formado por la misma capa de rodadura que en la calzada dispuesta sobre zahorra artificial. En los arcenes interiores de glorietas, sin embargo, se dispondrá el mismo firme que en la calzada debido a sus reducidas dimensiones (<1 m).

Firme 2221 - Firme en calzada y arcenes < 1,00 m		
ESPESOR	CAPA	MATERIAL A EMPLEAR
6 cm	Rodadura	Mezcla bituminosa AC22 surf 50/70 S con árido porfídico
Riego de adherencia		Emulsión bituminosa C60B3 ADH
6 cm	Intermedia	Mezcla bituminosa AC22 bin 50/70 S con árido calizo
Riego de adherencia		Emulsión bituminosa C60B3 ADH
10 cm	Base	Mezcla bituminosa AC32 base 50/70 G con árido calizo
Riego de imprimación		Emulsión bituminosa C60BF5 IMP
30 cm		Zahorra artificial ZA-0/32

Firme 2221 - Firme en arcenes ejes 1, 2 y 3 y exteriores de glorietas		
ESPESOR	CAPA	MATERIAL A EMPLEAR
6 cm	Rodadura	Mezcla bituminosa AC22 surf 50/70 S con árido porfídico
Riego de imprimación		Emulsión bituminosa C60BF5 IMP
16 cm		Zahorra artificial drenante
30 cm		Zahorra artificial ZA-0/32

De forma análoga, en vías ciclo ciclo-peatonales el firme adoptado es el 4221 compuesto por 5 cm de mezcla bituminosa y 30+5 cm de zahorra artificial sobre la explanada E2. Para mejorar su percepción, salvo en los accesos directos a las parcelas agrícolas a las

que también den servicio, estas vías irán confinadas por bordillos en ambas márgenes que irán dotados de las correspondientes aperturas para el drenaje superficial.

Firme 4221 - Firme en vías ciclo peatonales		
ESPESOR	CAPA	MATERIAL A EMPLEAR
5 cm	Rodadura	Mezcla bituminosa AC22 surf 50/70 S con árido porfídico
Riego de imprimación		Emulsión bituminosa C60BF5 IMP
15+20 cm		Zahorra artificial ZA-0/32

Finalmente, sobre estructuras se dispondrá un riego de adherencia sobre una impermeabilización de brea-epoxi y una capa de rodadura de 6 cm formada por Mezcla bituminosa AC22 surf 50/70 S con árido porfídico.

Firme sobre estructuras		
ESPESOR	CAPA	MATERIAL A EMPLEAR
6 cm	Rodadura	Mezcla bituminosa AC22 surf 50/70 S con árido porfídico
Riego de adherencia		Emulsión bituminosa C60B3 ADH
Impermeabilización		Brea-epoxi

3.4. MATERIALES DEL FIRME

A continuación se describen los materiales que formarán las capas del firme especificadas en los apartados anteriores. En general, los materiales bituminosos y zahorras que se citan a continuación deberán cumplir las condiciones indicadas en el "Pliego de prescripciones técnicas generales para las obras de carreteras y puentes PG-3" (Orden FOM/2523/2014, de 12 de diciembre).

3.4.1. MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

Consiste en la combinación de un ligante hidrocarbonado y áridos (incluido el polvo mineral o filler), de manera que todas las partículas de árido queden recubiertas de una película de ligante. Las mezclas en caliente se fabrican con betunes de penetración,

siendo necesario calentar el ligante y los áridos, y se ponen en obra a temperatura muy superior a la ambiente para poder extender y compactar estos materiales adecuadamente.

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

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

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

Betún:

El ligante hidrocarbonado a emplear será seleccionado en función de la capa a que se destine la mezcla bituminosa en caliente, de la zona térmica en que se encuentre y de la categoría de tráfico pesado. Teniendo en cuenta que la actuación se encuentra en zona térmica estival media y el tráfico de pesados es de categoría T22, se adopta **un betún tipo 50/70** para las capas de rodadura de tipo AC22, así como para las capas intermedia y de base.

Los artículos 542 y 543 del PG3 establecen las dotaciones mínimas que se deben cumplir en cuanto a betún (% en masa sobre el total de la mezcla).

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

TIPO DE MEZCLA	% BETÚN mínimo
AC 22 surf S	4,50
AC 22 bin S	4,00
AC 32 base G	4,00

Áridos:

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

Se le exigirá un coeficiente de pulimento acelerado mayor o igual que 50.

TABLA 543.5- COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO (PSV)

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

Filler y % de betún:

El polvo mineral podrá proceder de los áridos, separándose de ellos por medio de los ciclones de la central de fabricación, o aportarse a la mezcla por separado de aquellos como un producto comercial o especialmente preparado. La proporción del polvo mineral de aportación a emplear en la mezcla deberá cumplir lo fijado en las tablas 542.6 (para M.B. tipo hormigón bituminoso) y 543.6 (M.B. para capas de rodadura drenantes y discontinuas) del PG-3, teniendo en cuenta la categoría del tráfico pesado y la capa a que se destine la mezcla:

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

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 ARGENES	T4
RODADURA	100			≥ 50	
INTERMEDIA	100		≥ 50		
BASE	100	≥ 50			

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 ARGENES
100	≥ 50

La relación ponderal recomendable entre los contenidos de polvo mineral (filler) y ligante hidrocarbonado de las mezclas densas, semidensas y gruesas, en función de la categoría de tráfico pesado y de la zona térmica estival se establece en la Tabla 542.11 del PG-3:

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.

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

TIPO DE MEZCLA	% BETÚN	% FILLER	FILLER / BETÚN
AC 22 surf S	4,50 %	5,40 %	1,2
AC 22 bin S	4,00 %	4,40 %	1,1
AC 32 base G	4,00 %	4,00 %	1,0

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

TABLA 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
DENSA	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
SEMIDENSA	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%.

TABLA 543.8 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS. CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE MEZCLA (**)	ABERTURA DE LOS TAMICES. NORMA UNE-EN 933-2 (mm)								
	22	16	11,2	8	5,6	4	2	0,5	0,063
BBTM 8B (*)			100	90-100	42-62	17-27	15-25	8-16	4-6
BBTM 11B (*)		100	90-100	60-80		17-27	15-25	8-16	4-6
BBTM 8A (*)			100	90-100	50-70	28-38	25-35	12-22	7-9
BBTM 11A (*)		100	90-100	62-82		28-38	25-35	12-22	7-9
PA 16	100	90-100		40-60		13-27	10-17	5-12	3-6
PA 11		100	90-100	50-70		13-27	10-17	5-12	3-6

(*) La fracción del árido que pasa por el tamiz 4 mm y es retenida por el tamiz 2 mm (norma UNE-EN 933-2), será inferior al ocho por ciento (8%).

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

De esta tabla se extraen los siguientes valores de comparación:

TIPO DE MEZCLA	TAMIZ 0,063 (Filler)	FILLER
AC 22 surf 50/70 S PORFIDO	3 – 7 %	5,40 %
AC 22 bin 50/70 S CALIZO	3 – 7 %	4,40 %
AC 32 base 50/70 G CALIZO	2 – 5 %	4,00 %

3.4.2. RIEGO DE IMPRIMACIÓN

Consiste en la aplicación de un ligante fluido sobre una superficie no tratada anteriormente con ningún conglomerante o ligante (capa granular o explanada). Se pretende que el riego penetre ligeramente, prepare la superficie de apoyo y contribuya a la sujeción de la capa bituminosa o tratamiento superficial posteriores. En este caso, se aplicará un riego de imprimación sobre la base granular de zorra artificial previamente a la extensión sobre ésta de la capa bituminosa y se realizará a base de una emulsión bituminosa especial para los riegos de imprimación tipo **C50BF5 IMP**, con una dotación tipo del orden de 1,25 kg/m² de betún residual.

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

3.4.3. RIEGO DE ADHERENCIA

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

El tipo de ligante a emplear debe ser de rotura rápida para conseguir un buen reparto con poca dotación y permitir la rápida extensión de la nueva capa, y con una baja concentración de betún residual.

En este caso, atendiendo al PG-3 y por motivos de ejecución, se empleará una emulsión tipo **C60B3 ADH**.

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

3.4.4. SUBBASES GRANULARES

Las subbases granulares estarán constituidas por zahorras artificiales, formadas por áridos de cantera o por áridos de graveras sometidos a un proceso de machaqueo cuya granulometría es de tipo continua. Para la subbase del firme proyectado deberán cumplirse las limitaciones del Artículo 510 "Zahorras" del "*Pliego de prescripciones técnicas generales para las obras de carreteras y puentes PG-3*".

**APÉNDICE Nº1.- ESTUDIO ECONÓMICO ALTERNATIVAS DE
EXPLANADA+FIRME**

PRECIOS DE REFERENCIA UTILIZADOS EN EL ESTUDIO BDP IVE 2022		
m3	EXCAVACIÓN EN DESMONTE EN TIERRA CON MEDIOS MECÁNICOS SIN EXPLOSIVOS	5,66 €
m3	TERRAPLÉN O PEDRAPLÉN O RELLENO TODO-UNO CON MATERIAL PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN	4,92 €
m3	TERRAPLÉN O RELLENO TODO-UNO CON MATERIAL PROCEDENTE DE CANTERA	7,99 €
m3	SUELO ADECUADO PROCEDENTE DE YACIMIENTO GRANULAR O CANTERA PARA FORMACIÓN DE EXPLANADA	9,16 €
m3	SUELO SELECCIONADO PROCEDENTE DE YACIMIENTO GRANULAR O CANTERA PARA FORMACION DE EXPLANADA	11,28 €
t	CEMENTO PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, SUELOCEMENTO O GRAVACIMIENTO	106,00 €
m3	SUELO ESTABILIZADO "IN SITU" CON CEMENTO O CAL, TIPO S-EST1 O S-EST2 O CON TIERRAS DE LA PROPIA OBRA	10,58 €
m3	SUELO ESTABILIZADO "IN SITU" CON CEMENTO O CAL, TIPO S-EST1 O S-EST2, CON MATERIAL DE CANTERA	17,57 €
m3	ZAHORRA	23,75 €
m3	SUELO-CEMENTO FABRICADO EN CENTRAL CON MATERIAL GRANULAR PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN DE LA TRAZA	16,45 €
m3	SUELO-CEMENTO FABRICADO EN CENTRAL CON MATERIAL GRANULAR PROCEDENTE DE CANTERA	28,08 €
t	EMULSIÓN C60B3 ADH EN RIEGOS DE ADHERENCIA O C60B3 CUR EN RIEGOS DE CURADO	624,16 €
t	EMULSIÓN C60BF4 IMP EN RIEGO DE IMPRIMACIÓN	526,42 €
t	EMULSIÓN TERMOADHERENTE MODIFICADA TIPO C60BP3 TER PARA RIEGOS DE ADHERENCIA	682,46 €
t	MBC TIPO AC22 SURF S, EXCEPTO BETÚN Y POLVO MINERAL	55,56 €
t	MBC TIPO AC22 BIN S, EXCEPTO BETÚN Y POLVO MINERAL	48,85 €
t	MBC TIPO AC32 BASE G, EXCEPTO BETÚN Y POLVO MINERAL	48,80 €
m2	MBC TIPO BBTM 11B EN CAPA DE RODADURA, EXCEPTO BETÚN Y POLVO MINERAL	4,93 €
m3km	TRANSPORTE SUPLEMENTARIO DE CUALQUIER TIPO DE MATERIAL	0,30 €
t	BETÚN ASFÁLTICO CONVENCIONAL TIPO 50/70	836,40 €
t	BETÚN MODIFICADO CON POLÍMEROS (CON O SIN CAUCHO) TIPO PMB 45/80-60	938,40 €
t	CARBONATO EMPLEADO COMO POLVO MINERAL DE APORTACIÓN	59,86 €

ALTERNATIVAS DE EXPLANADA

EXPLANADA			e (cm)
E1	E1a	S-EST1	25
	E1b	Seleccionado 2	45
	E1c	Adecuado	60
E2	E2a	S-EST2	30
	E2b	Seleccionado 2	75

ALTERNATIVAS FIRME

FIRME	TIPO	MB	ZA	SC	espesor total (m)
2211	1	23+2	40	0	0,65
2221	1	20+2	30	0	0,52

COMBINACIÓN ALTERNATIVAS EXPLANADA+FIRME

EXPLANADA	FIRME	e (m) EXPLANADA	e (m) FIRME	e (m) TOTAL	Todo uno de cantera hasta completar el paquete equivalente de 127 cm (m)	
E1a	S-EST1	2211 BBTM	0,25	0,65	0,90	0,37
		2211 AC22	0,25	0,65	0,90	0,37
E1b	Seleccionado 2	2211 BBTM	0,45	0,65	1,10	0,17
		2211 AC22	0,45	0,65	1,10	0,17
E1c	Adecuado	2211 BBTM	0,60	0,65	1,25	0,02
		2211 AC22	0,60	0,65	1,25	0,02
E2a	S-EST2	2221 BBTM	0,30	0,52	0,82	0,45
		2221 AC22	0,30	0,52	0,82	0,45
E2b	Seleccionado 2	2221 BBTM	0,75	0,52	1,27	0,00
		2221 AC22	0,75	0,52	1,27	0,00

COSTE ALTERNATIVAS EXPLANADA

			(1) (2)	(1)	(1)	
			29,29 €	17,28 €	15,16 €	
RELLENOS			S-EST1 S-EST2	Seleccionado 2	S-EST1 S-EST2	Seleccionado 2
E1	E1a	S-EST1	0,25	0,00	0,00	7,32 €
	E1b	Seleccionado 2	0,00	0,45	0,00	7,78 €
	E1c	Adecuado	0,00	0,00	0,60	9,10 €
E2	E2a	S-EST2	0,30	0,00	0,00	8,79 €
	E2b	Seleccionado 2	0,00	0,75	0,00	12,96 €

(1) incluye 20 km de transporte adicional

(2) incluye CEM

COSTE ALTERNATIVAS FIRME

	m3	m3	m2	m3	m3	m2	m3	m2	m3	m2	
	290,65 €	241,08 €	0,41 €	0,37 €	208,10 €	0,37 €	203,16 €	0,66 €	23,75 €	0,37 €	€/m2
	BBTM	AC22 SURF S	ADH C60BP3 TER	ADH C60B3 ADH	AC22 BIN S	ADH C60B3 ADH	AC32 BASE G	IMPR C60BF4 IMP	ZA 0/32	CURADO C60B3 CUR	
2211 BBTM	0,03	0,00	1	0	0,09	1	0,13	1	0,40	0	64,80 €
2211 AC22	0,00	0,06	0	1	0,06	1	0,13	1	0,40	0	64,27 €
2221 BBTM	0,03	0,00	1	0	0,09	1	0,10	1	0,30	0	56,33 €
2221 AC22	0,00	0,06	0	1	0,06	1	0,10	1	0,30	0	55,80 €
Densidad (t/m3)	2,50	2,50	-	-	2,45	-	2,40	-	-	-	
Dotación (kg/m2)	-	-	0,60	0,60	-	0,60	-	1,25	-	0,60	
% betún	5,00	4,50	-	-	4,00	-	4,00	-	-	-	
% filler	6,00	5,40	-	-	4,40	-	4,00	-	-	-	
% cemento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

COSTE ALTERNATIVAS EXPLANADA+FIRME

EXPLANADA		FIRME	e (m) EXPLANADA	e (m) FIRME	e (m) TOTAL	13,99 €/m3 (1) Todo uno de cantera (m)	Costes por m2			TOTAL (€/m2)
							Explanada	Firme	Todo uno (hasta 1,27 m)	
E1a	S-EST1	2211 BBTM	0,25	0,65	0,90	0,37	7,32 €	64,80 €	5,18 €	77,30 €
		2211 AC22	0,25	0,65	0,90	0,37	7,32 €	64,27 €	5,18 €	76,77 €
E1b	Seleccionado 2	2211 BBTM	0,45	0,65	1,10	0,17	7,78 €	64,80 €	2,38 €	74,96 €
		2211 AC22	0,45	0,65	1,10	0,17	7,78 €	64,27 €	2,38 €	74,42 €
E1c	Adecuado	2211 BBTM	0,60	0,65	1,25	0,02	9,10 €	64,80 €	0,28 €	74,18 €
		2211 AC22	0,60	0,65	1,25	0,02	9,10 €	64,27 €	0,28 €	73,64 €
E2a	S-EST2	2221 BBTM	0,30	0,52	0,82	0,45	8,79 €	56,33 €	6,30 €	71,42 €
		2221 AC22	0,30	0,52	0,82	0,45	8,79 €	55,80 €	6,30 €	70,88 €
E2b	Seleccionado 2	2221 BBTM	0,75	0,52	1,27	0,00	12,96 €	56,33 €	0,00 €	69,29 €
		2221 AC22	0,75	0,52	1,27	0,00	12,96 €	55,80 €	0,00 €	68,76 €

(PAQUETE DE 1,27 m)