

ANEJO N° 5

Estudio de Firmes y Pavimentos

Índice

1	Introducción	1
2	Factores de dimensionamiento	2
2.1	Categoría de Tráfico Pesado	2
2.3	Categoría de la explanada	3
2.4	Datos de Tráfico	3
3	Firme Existente	4
4	Elección de la sección estructural	6
4.1	Determinación de la intensidad de tráfico	6
4.2	Determinación de la categoría de tráfico	6
4.3	Sección estructural	7
4.3.1	Tipo de Explanada	7
4.3.2	Sección de firmes	8
4.4	Aprovechamiento de firmes	9

1 Introducción

El objeto del presente Anejo es definir las actuaciones previstas sobre el firme que se contemplan en el presente proyecto **“Proyecto de Trazado para la reordenación de accesos en el alto de Barazar (T.M. Zeanuri)”**.

Anejo nº5. Estudio de Firmes y Pavimentos

X000010000000148-PT-AN-EFP-0

1

2 Factores de dimensionamiento

2.1 Categoría de Tráfico Pesado

De forma general, la metodología a seguir para el dimensionamiento de un firme es la siguiente:

Norma 6.1.-I.C

Según la Instrucción 6.1.-I.C.-Secciones de firme, la sección estructural de firme de proyecto se dimensionará de acuerdo con la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) que se prevea vaya a solicitar el carril de proyecto en el año de puesta en servicio.

Se consideran 8 categorías de tráfico pesado en función del parámetro de la IMDp, que son las que se especifican a continuación:

Categoría de Tráfico	IMDp
T00	$IMDp \geq 4.000$
T0	$4.000 > IMDp \geq 2.000$
T1	$2.000 > IMDp \geq 800$
T2	$800 > IMDp \geq 200$
T31	$200 > IMDp \geq 100$
T32	$100 > IMDp \geq 50$
T41	$50 > IMDp \geq 25$
T42	$IMDp < 25$

Norma para el Dimensionamiento de Firmes de la red de Carreteras del País Vasco de Noviembre de 2012

De acuerdo con la Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco la sección estructural de firme de proyecto se dimensionará de acuerdo con el denominado tráfico de proyecto (TP) que se define como el número acumulado de vehículos pesados que se prevé que circularán por el carril de proyecto durante el periodo de proyecto.

Este parámetro se obtiene mediante la siguiente expresión:

• $TP = IMDp^{APS} \cdot 365 \cdot F \cdot \gamma_T$

Siendo:

- $IMDp^{APS}$ = Intensidad media diaria de vehículos pesados en el año de puesta en servicio del tramo.
- F= Factor de crecimiento del tráfico de vehículos pesados durante el periodo de proyecto.
- γ_T =Coeficiente de ponderación de las cargas del tráfico.

A diferencia del anterior, la norma de dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco considera 10 categorías de tráfico pesado en función del parámetro Tráfico de Proyecto, TP, que son las que se especifican a continuación:

Categoría de Tráfico	TP(en millones)
T00	43,8 - 87,6
T0	21,9 - 43,8
T1A	15,3 - 21,9
T1B	8,8 - 15,3
T2A	4,4 - 8,8
T2B	2,2 - 4,4
T3A	1,1 - 2,2
T3B	0,55 - 1,1
T4A	0,27 - 0,55
T4B	< 0,27

2.3 Categoría de la explanada

La Norma para el dimensionamiento de firmes de la red de carreteras del País Vasco considera para el dimensionamiento del firme tres categorías de explanada, caracterizadas por su módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (EV2), obtenido de acuerdo con la NLT-357 “ensayo de carga con placa”, cuyos valores se indican en el cuadro siguiente:

Categoría de la Explanada	EV2 (MPa)
EX1	≥ 120
EX2	≥ 200
EX3	≥ 300

2.4 Datos de Tráfico

Se han consultado los datos de tráfico facilitados por la Diputación Foral del año 2021 y obtenidos del documento: “Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia. Avance del Informe 2021: mapas y tablas de intensidades de tráfico”.

Se cuenta con una estación de aforo muy próxima al lugar de estudio del presente documento, por lo que se emplearan esos datos para el desarrollo del presente documento.

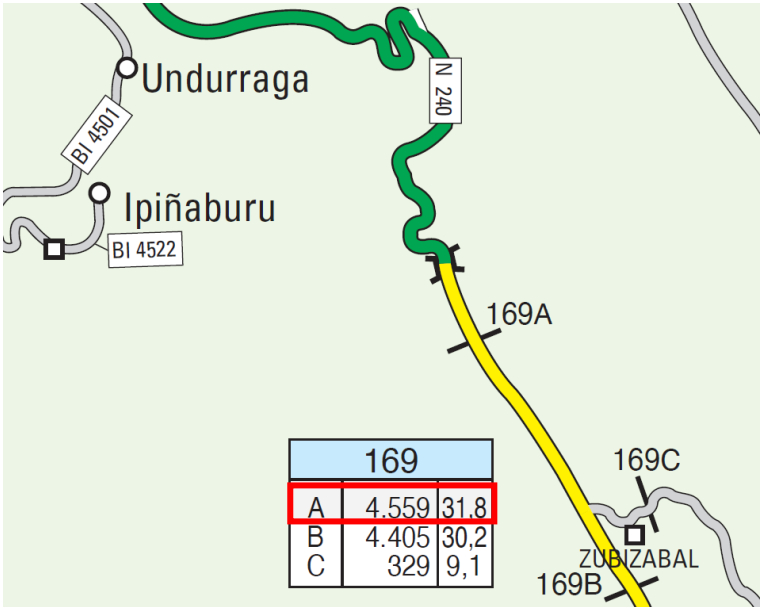


Imagen 1: IMD vehículos ligeros

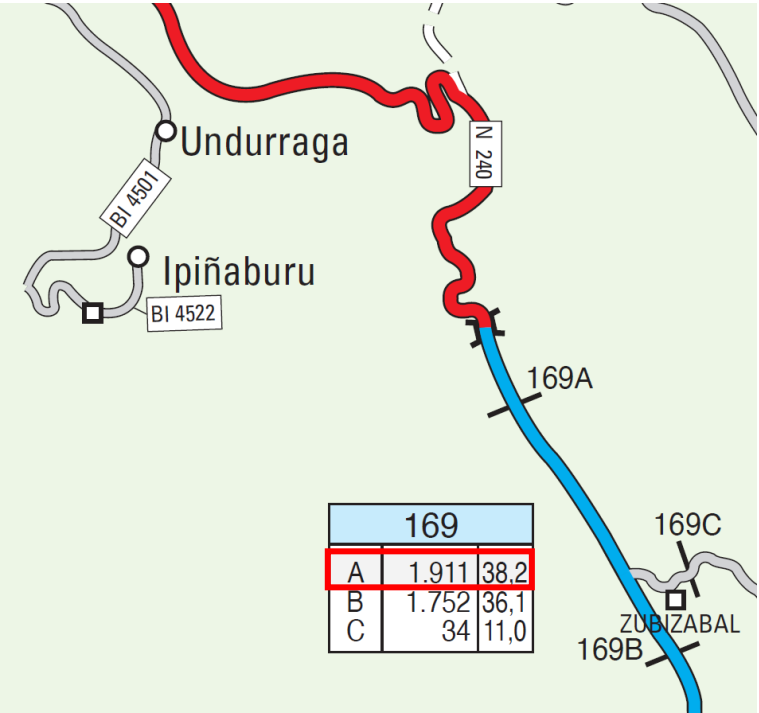


Imagen 2: IMD vehículos pesados en día laborable

La estación de aforo que se encuentra en las inmediaciones de la zona de estudio es la 169 A

Sus principales datos son los siguientes:

Estación	Carretera	Tramo	IMD 2021	% pesados
169 A	N-240	Alto Barazar	4.559	31,8%

Como se aprecia en la segunda imagen para la IMD de vehículos pesados se obtiene un valor de 1.911 vehículos.

3 Firme Existente

La composición de la estructura del firme existente se ha obtenido a través de un sondeo realizado en la campaña de Febrero del año 2001.

Los resultados obtenidos son:



Imagen 3: imagen ubicación sondeo

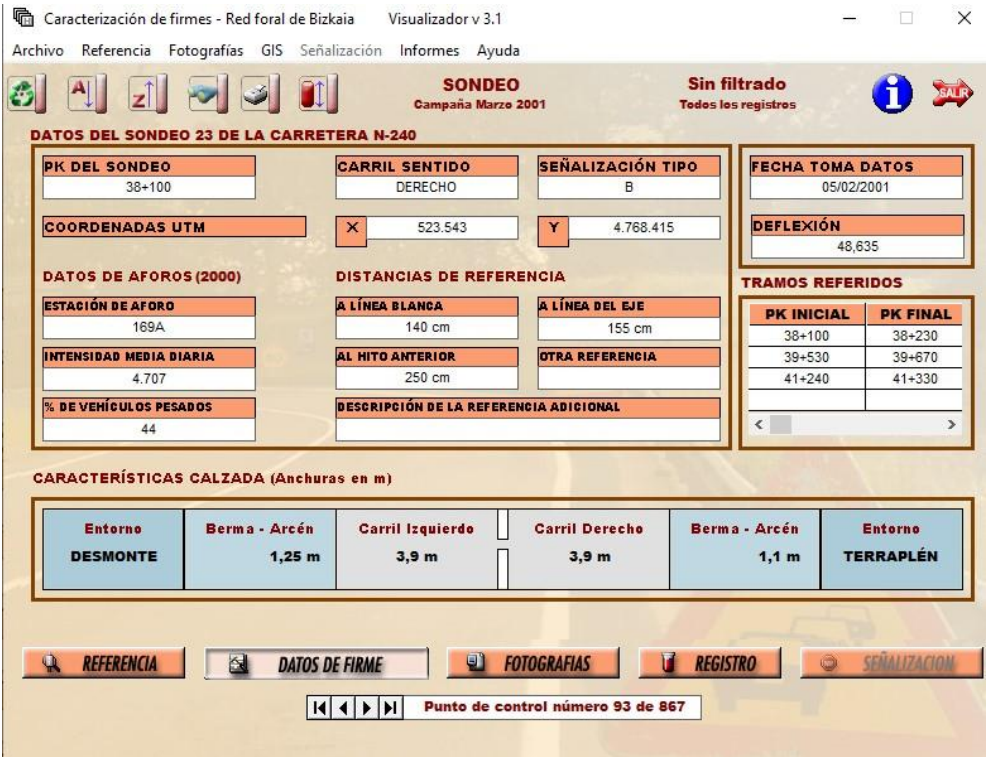
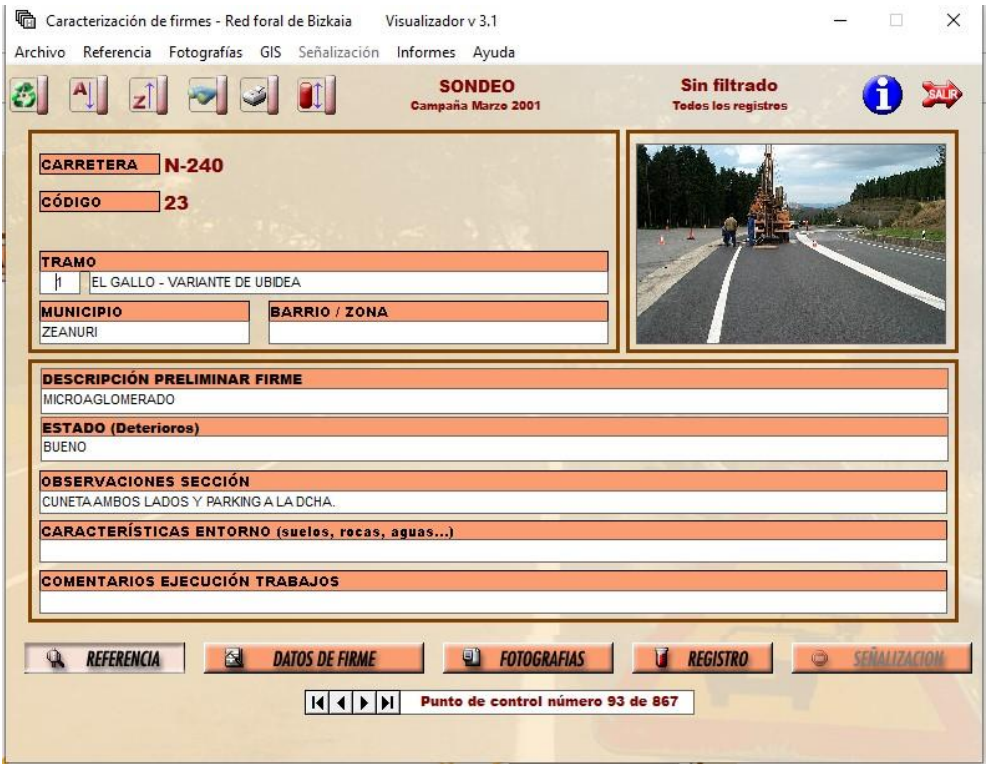


Imagen 4: descripción y características

Anejo nº5. Estudio de Firmes y Pavimentos

X00001000000148-PT-AN-EFP-0

Caracterización de firmes - Red foral de Bizkaia

Visualizador v 3.1

ArchivoReferenciaFotografíasGISSeñalizaciónInformesAyuda

SONDEO

Campaña Marzo 2001

Sin filtrado

Todos los registros

SALIR

CAPAS ENCONTRADAS EN EL SONDEO 23 DE LA CARRETERA N-240

FUNCIÓN	ORDEN	TIPO	PROFUNDIDAD	ESPESOR	FECHA	SUBT. MEZCLA	SUBT. ÁRIDO	SUBT. GRANUL.	DENSIDAD
RODADURA	01	MEZCLA BITUMINOSA	0-8	8		MICROAGLOMER	OFÍTICO		2,5
INTERMEDIA	02	MEZCLA BITUMINOSA	8-30	22		CONVENCIONAL	CALIZO		2,4
BASE	03	CAPA GRANULAR	30-60	30			CALIZO	TODOUNO	2,308
	04	TERRENO NATURAL / RELLENO	60-						

Propiedades:

TERRENO NATURAL: MARGAS GRISES

Comentarios a la densidad:

RESULTADOS DEL ANÁLISIS 241/2001

MUESTRA	%BETÚN (Áridos)	%BETÚN (Mezcla)	% FILLER	RELACIÓN FILLER/BETÚN
OFITA	5,47	5,19	7,51	1,45
CALIZA	4,85	4,83	5,5	1,19

Comentarios:

COMENTARIOS GENERALES AL REGISTRO

REFERENCIA

DATOS DE FIRME

FOTOGRAFÍAS

REGISTRO

SEÑALIZACIÓN

Punto de control número 93 de 867

Imagen 5: Composición del firme

Como puede verse en la ultima imagen adjunta, se obtienen diferentes capas del sondeo realizado. Las capas del firme existente son 8 cm de mezcla bituminosa como capa de rodadura, 22 cm de mezcla bituminosa como capa intermedia y una base de 30 cm de capa granular. El árido de la capa de rodadura es de tipo ofítico, mientras que el árido de la capa intermedia y de la base es de tipo calizo.

Anejo nº5. Estudio de Firmes y Pavimentos

X000010000000148-PT-AN-EFP-0

5

Bizkaia

foru aldundia

diputación foral

FULCRUM

4 Elección de la sección estructural

4.1 Determinación de la intensidad de tráfico

La elección de la sección estructural del firme se hará atendiendo a la categoría de tráfico obtenida. Se empleará para ello los datos de aforo recogidos en la estación de aforo de la N-240.

Para el cálculo de esta se empleará el método recogido en la Norma para el Dimensionado de Firmes del País Vasco del año 2.012.

$$\left(IMD_p^{APS} \right)^* = \left(IMD_p^{Aforo} \right) \cdot (1 + r)^n$$

Siendo:

- r: Tasa anual estimada de crecimiento del tráfico pesado entre el año del aforo o estudio específico y el año previsto de puesta en servicio del tramo, en tanto por uno
- n: Periodo comprendido entre el año del aforo o estudio específico y el año previsto de puesta en servicio del tramo, en años

Se puede tomar el parámetro r como el mayor de las medias de los cinco o de los tres últimos valores de crecimiento del tráfico recogidos en la serie histórica de los informes anuales de aforos. Si se desconoce la fecha de puesta en servicio del tramo se puede suponer que transcurrirán 3 años a partir de la fecha en que se redacte el proyecto.

De acuerdo con la Norma para el Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco, en ausencia de datos fiables podrá adoptarse una tasa constante del 4% para IMDs de vehículos pesados en el año puesta en servicio de 1.600 o superior. Y del 2% en otro caso.

En nuestro caso desconocemos los crecimientos de tráfico de los años anteriores, por lo que se aplicara un 2%, al no pasar 1.600.

Estación	Tramo	IMD 2021	% pesados	IMD _p	IMD _p 2025
169 A	Alto Barazar	4.559	31,8 %	1.911	2.028

4.2 Determinación de la categoría de tráfico

El Tráfico de Proyecto se obtendrá mediante la expresión:

$$TP = \left(IMD_p^{APS} \right)^* \cdot 365 \cdot F \cdot \gamma_T$$

Donde,

- $\left(IMD_p^{APS} \right)$: Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en el año de puesta en servicio del tramo.
- F: Factor de crecimiento del tráfico de vehículos pesados durante el periodo de proyecto.
- γ_T Coeficiente de ponderación de las cargas de tráfico.

El coeficiente de ponderación se obtiene de la expresión:

$$\gamma_T = \gamma_c \cdot \gamma_r \cdot \gamma_l$$

Siendo,

- γ_c Coeficiente de asignación del tráfico pesado al carril de proyecto.
- γ_r Coeficiente que tiene en cuenta la variabilidad en la estimación del tráfico de proyecto.
- γ_l Coeficiente que tiene en cuenta la influencia de la pendiente longitudinal del tramo objeto del proyecto.

El coeficiente obtenido para cada estación:

	γ_c	γ_l	γ_r	γ_T
169 A	0,5	1,2	1	0,60

Como la IMD_p^{APS} es menor de 1.600, se toma por defecto r=2% y por tanto, F=25.

Por tanto, el tráfico de proyecto y la categoría de tráfico son:

	IMD_p^{APS}	F	Tráfico de proyecto	Categoría de tráfico
169 A	2.028	30	13.323.960	T1B

Se considera para todo el tramo incluido en el proyecto la categoría de tráfico **T1B**.

4.3 Sección estructural

4.3.1 Tipo de Explanada

A efectos de definir la estructura del firme se establecen tres categorías de explanadas mejorada denominadas EX1, EX2 y EX3. La categoría mínima necesaria será función del Tráfico del Proyecto (véase tabla 6.1).

Tabla 6.1. Categoría necesaria de Explanada Mejorada

TRÁFICO DE PROYECTO	CATEGORÍA DE EXPLANADA MEJORADA
T2A ó superior	EX2 ó EX3
T2B ó inferior	EX1 , EX2 ó EX3

En la figura 6.2 se definen las soluciones posibles de Explanada Mejorada en función de su categoría y del tipo de Terreno Subyacente.

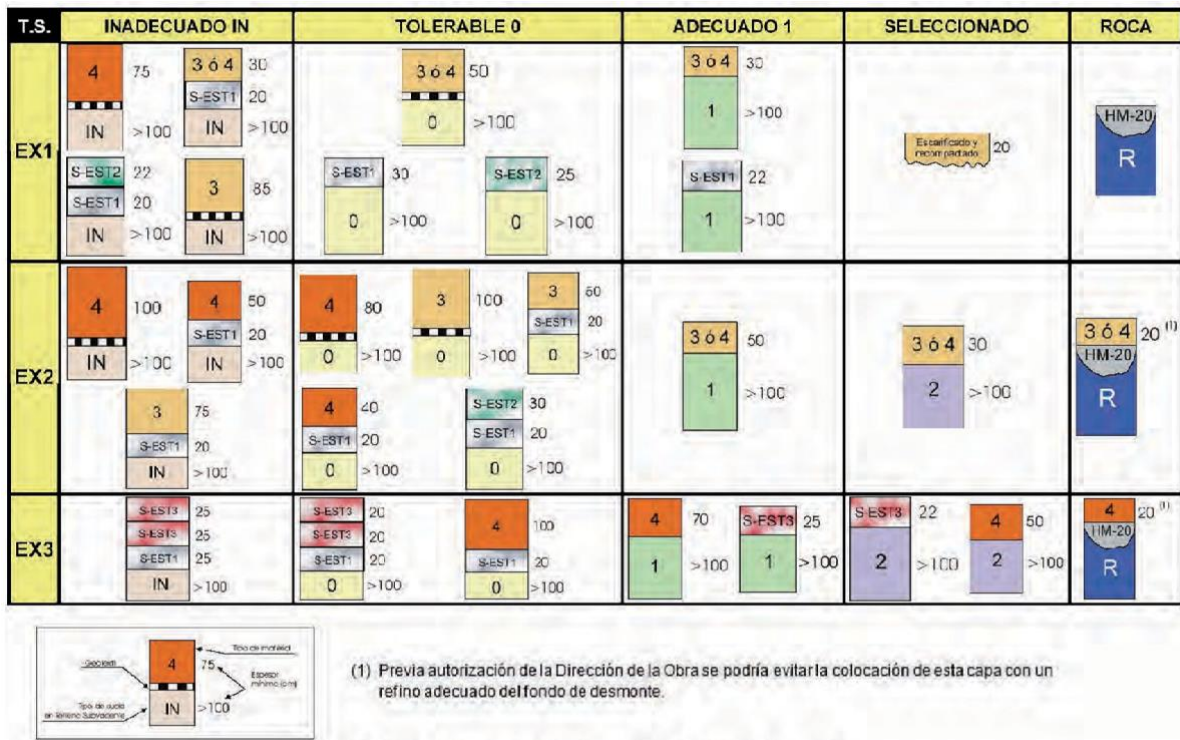


Figura 6.2 Catálogo de Secciones de Explanada Mejorada

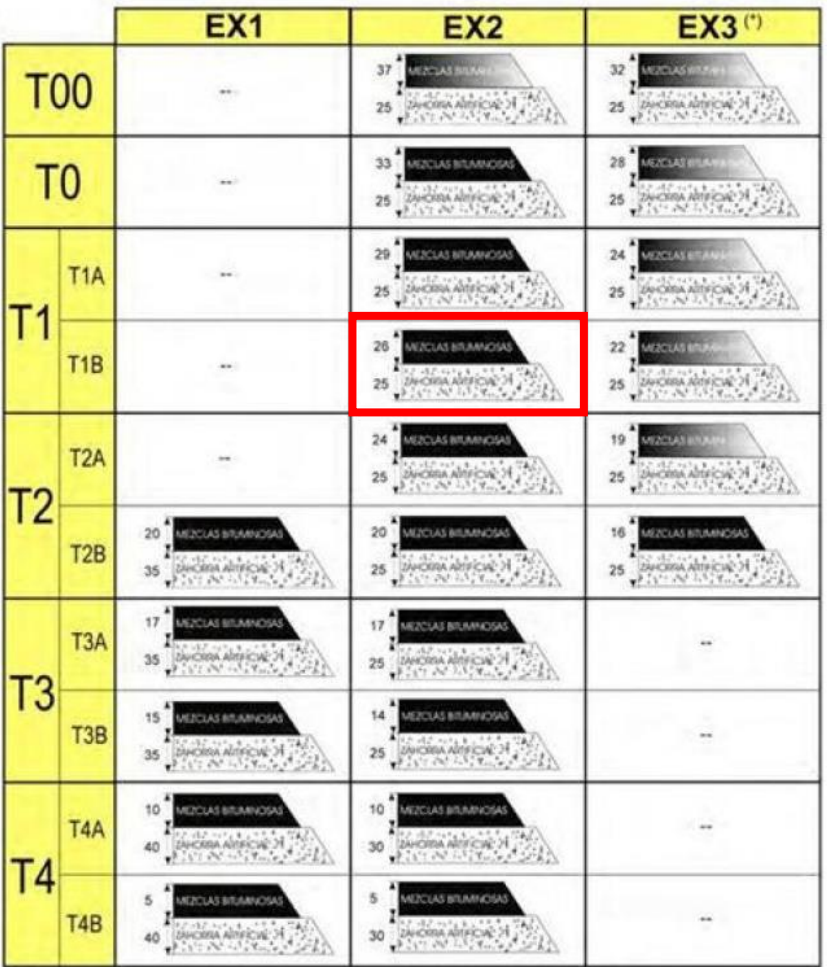
Imagen 6: Figura 6.2 de la normativa del País Vasco

Según se define en el Anejo nº2. Geología y Geotecnia, se ha caracterizado la explanada a partir de los datos obtenidos de la campaña, en función de lo expuesto en el anejo se deduce que el tipo de suelo es tolerable.

Por lo tanto, para conseguir la explanada mínima, en nuestro caso una EX2, para el suelo tolerable será necesario implementar un espesor de 1,0 m de suelo seleccionado. Debajo del suelo seleccionado se dispondrá un geotextil.

Sabiendo ya de que explanada dispondremos y el tipo de tráfico del tramo de estudio, se puede proceder a la elección del paquete de firme. En este caso como ya se ha indicado en apartados anteriores tendremos una explanada EX2 y una categoría de tráfico T2A.

Secciones tipo 1.1



(*) Sólo secciones de Explanada Mejorada con coronación de suelo seleccionado tipo 4.

Nota: Espesores en cm

Imagen 7: Figura para las secciones tipo 1.1

Como puede verse en la imagen para las condiciones del proyecto, se necesitará extender 24 cm de mezcla bituminosa sobre 25 cm de zahorra artificial.

4.3.2 Sección de firmes

Tal y como se ha comentado se ha seleccionado un tipo de firme flexible compuesto por una mezcla bituminosa de 26 cm dispuesto sobre capa de zahorra artificial de 25 cm.

Se ha realizado una valoración de diferentes paquetes que cumplan la categoría de tráfico expuesta T1B, obteniendo que la solución de 26cm de mezcla bituminosa sobre 25 cm de zahorra artificial es la mejor solución comparando la valoración económica con la dificultad de ejecución de cada una de las alternativas. Esta valoración puede encontrarse en el apéndice adjunto a este Anejo.

Este paquete de firme se ajusta al ya existente en el tronco de la carretera N-240, este es otro de los puntos a favor a la hora de ser el escogido.

El paquete de firmes elegido quedará compuesto por las siguientes capas acorde a la citada instrucción:

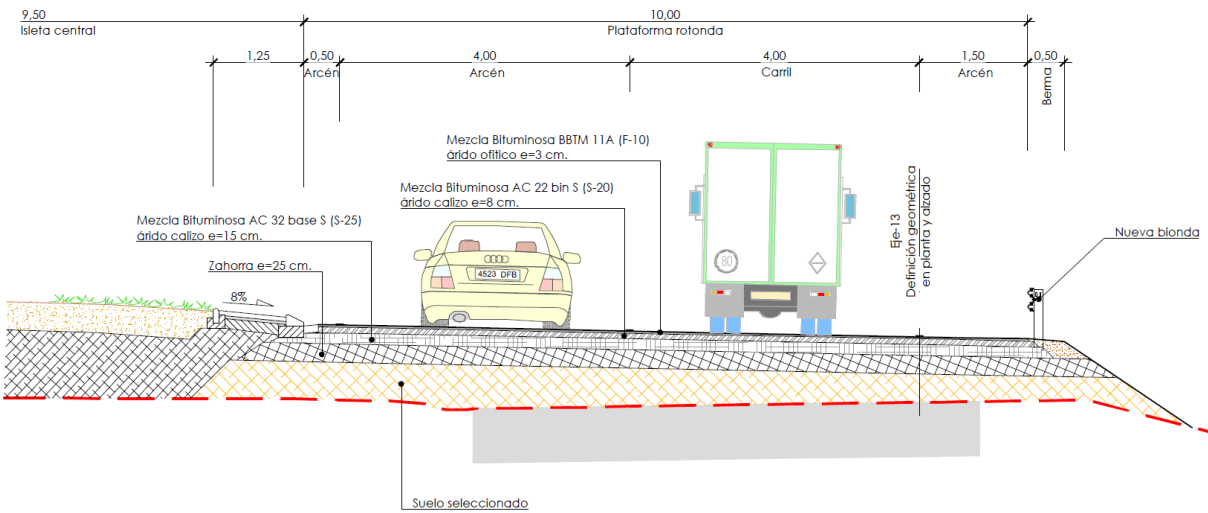


Imagen 8: Sección tipo paquete seleccionado

cuadro de materiales		
tipo	material	espesor cm
a	capa de rodadura mezcla bituminosa en caliente BBTM 11 A con árido ofítico (F-10)	3
	riego de adherencia modificado con polímeros	
b	capa intermedia de mezcla bituminosa en caliente AC 22 bin S con árido calizo (S-20)	8
	riego de adherencia	
c	capa de base de mezcla bituminosa en caliente AC 32 base S con árido calizo (S-25)	15
	riego de imprimación	
d	Zahorra artificial	25
e	suelo seleccionado en terraplén	100

Imagen 9: Resumen paquete seleccionado

4.4 Aprovechamiento de firmes

Se aprovechará parte del firme existente en el tronco principal de la N-240, el resto de ramales de nueva ejecución así como la rotonda se ejecutarán todos con el nuevo paquete de firmes seleccionado. No se puede aprovechar todo el el firme existente por la diferencia de cota entre la rasante actual y la proyectada.

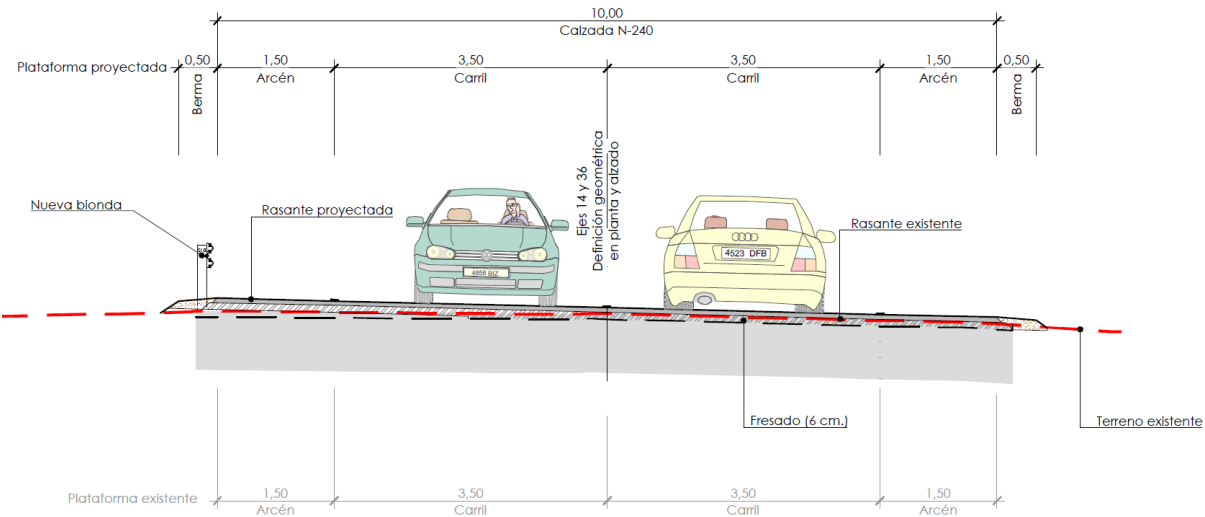


Imagen 10: Sección tipo en zona de aprovechamiento de firme

APENDICE 5.1

Valoración paquetes de firmes

Índice

1	Introducción	1
2	Paquetes de firmas	2
2.1	Paquetes de firmas posibles	2
2.2	Sección tipo 1.1	1
2.3	Sección tipo 2.1	2
2.4	Sección tipo 2.2	3
3	Conclusiones	1

1 Introducción

En el presente apéndice se van a explicar y analizar diferentes aspectos de los diferentes paquetes de firmes que pueden emplearse en el presente proyecto.

Con este apéndice se quiere llegar a obtener la mejor solución desde el punto de vista económico, así como la facilidad de ejecución.

2 Paquetes de firmes

2.1 Paquetes de firmes posibles

Siguiendo la normativa de dimensionamiento de firmes del país vasco, para la categoría de tráfico obtenido T1B, hay tres paquetes de firmes posibles para este caso.

Secciones tipo 1.1

		EX1	EX2	EX3 (*)
T00				
T0				
T1	T1A			
	T1B			
T2	T2A			
	T2B			
T3	T3A			
	T3B			
T4	T4A			
	T4B			

(*) Sólo secciones de Explanada Mejorada con coronación de suelo seleccionado tipo 4.
Nota: Espesores en cm

Secciones tipo 2.1

		EX1	EX2	EX3
T00				
T0				
T1	T1A			
	T1B			
T2	T2A			
	T2B			
T3	T3A			
	T3B			
T4	T4A			
	T4B			

Nota: Espesores en cm

Secciones tipo 2.2

	EX1	EX2	EX3
T00	--		--
T0	--		--
T1	--		--
T2	--		--
T3	--	--	--
T4	--	--	--

Nota: Espesores en cm

Estos tres paquetes que se han podido comprobar en las imágenes anteriores cumplen la categoría de tráfico y la explanada seleccionada.

A continuación, se va a pasar a valorar cada uno de los paquetes de firmes.

2.2 Sección tipo 1.1

Esta sección debe contar con un espesor de 26 cm mezcla bituminosa y 25 cm de zahorra artificial.

Esta sección se caracteriza por disponer una capa granular debajo de la mezcla bituminosa.

La valoración económica es la siguiente:

VALORACIÓN PAQUETES DE FIRMES	T1B SECCIÓN 1.1	Uds	Largo	Ancho	Alto	Parcial (T/cm)	Precio (€/T)	Precio Desglosado	TOTAL
RODADURA	Mezcla Bituminosa BBTM 11A (F-10) árido ofítico	2,3	1	1	0,03	0,069	71,28	4,92	7,84 €
	Descuento betún	-0,05	0,069	1	1	-0,00345		-0,25	
	Descuento filler	-0,05	0,069	1	1	-0,00345		-0,25	
	BETÚN modif.	0,00345	1	1	1	0,00345	855,11	2,95	
	FILLER	0,00345	1	1	1	0,00345	134,41	0,46	
RIEGO ADHERENCIA modif.		0,001	1	1	1	0,001	764,76 €	0,76 €	0,76 €
INTERMEDIA	Mezcla Bituminosa AC 22 bin S (S-20) árido calizo	2,47	1	1	0,08	0,1976	58,12	11,48	18,72 €
	Descuento betún	-0,05	0,1976	1	1	-0,00988		-0,57	
	BETÚN	0,00988	1	1	1	0,00988	790,85	7,81	
RIEGO ADHERENCIA		0,002	1	1	1	0,002	764,76 €	1,53 €	1,53 €
BASE	Mezcla Bituminosa AC 32 base S (S-25) árido calizo	2,4	1	1	0,15	0,36	58,12	20,92	34,11 €
	Descuento betún	-0,05	0,36	1	1	-0,018000		-1,05	
	BETÚN	0,01800	1	1	1	0,018	790,85	14,24	
RIEGO IMPRIMACIÓN		0,001	1	1	1	0,001	783,53 €	0,78 €	0,78 €
ZAHORRA		1	1	1	0,25	0,250	34,86 €	8,72 €	8,72 €
								por M2	72,47 €

2.3 Sección tipo 2.1

Esta sección cuenta con un espesor de 22 cm de mezcla bituminosa y un espesor de 25 cm de suelo cemento.

La diferencia con el punto anterior es la reducción de la sección de mezcla bituminosa y la disposición de una capa tratada con cemento.

La valoración económica es la siguiente:

VALORACIÓN PAQUETES DE FIRMES	T1B SECCIÓN 2.1 EX2	Uds	Largo	Ancho	Alto	Parcial (T/cm)	Precio (€/T)	Precio Desglosado	TOTAL
RODADURA	Mezcla Bituminosa BBTM 11A (F-10) árido ofítico	2,3	1	1	0,03	0,069	71,28	4,92	7,84 €
	Descuento betún	-0,05	0,069	1	1	-0,00345		-0,25	
	Descuento filler	-0,05	0,069	1	1	-0,00345		-0,25	
	BETÚN	0,00345	1	1	1	0,00345	855,11	2,95	
	FILLER	0,00345	1	1	1	0,00345	134,41	0,46	
RIEGO ADHERENCIA MODIFICADO		0,001	1	1	1	0,001	889,18 €	0,89 €	0,89 €
INTERMEDIA	Mezcla Bituminosa AC 22 bin S (S-20) árido calizo	2,47	1	1	0,07	0,1729	58,12	10,05	16,38 €
	Descuento betún	-0,05	0,1729	1	1	-0,008645		-0,50	
	BETÚN	0,008645	1	1	1	0,008645	790,85	6,84	
RIEGO ADHERENCIA		0,002	1	1	1	0,002	747,20 €	1,49 €	1,49 €
BASE	Mezcla Bituminosa AC 32 base S (S-25) árido calizo	2,4	1	1	0,12	0,288	53,75	15,48	26,09 €
	Descuento betún	-0,05	0,288	1	1	-0,0144		-0,77	
	BETÚN	0,0144	1	1	1	0,0144	790,85	11,39	
RIEGO IMPRIMACIÓN		0,001	1	1	1	0,001	783,53 €	0,78 €	0,78 €
RIEGO CURADO		0,001	1	1	1	0,001	765,08 €	0,77 €	0,77 €
GRAVA-CEMENTO		1	1	1	0,25	0,250	94,66 €	23,67 €	23,67 €
								por M2	77,92 €

2.4 Sección tipo 2.2

La sección debe contar con un espesor de 15 cm de mezcla bituminosa, 20 cm de grava cemento y 22 cm de suelo cemento.

Esta sección reduce en gran medida el espesor de mezcla a costa de aumentar el espesor de las capas tratadas con cemento.

Destacar que la capa de mezcla bituminosa se incrementa para cumplir con las limitaciones mínimas por cada de rodadura, base y subbase, por ello no coincide con los 15 cm expuestos al principio del apartado.

La valoración económica es la siguiente:

VALORACIÓN PAQUETES DE FIRMES	T1 SECCIÓN 2.2 EX2	Uds	Largo	Ancho	Alto	Parcial (T/cm)	Precio (€/T)	Precio Desglosado	TOTAL
RODADURA	Mezcla Bituminosa BBTM 11A (F-10) árido ofítico	2,3	1	1	0,03	0,069	71,28	4,92	7,84 €
	Descuento betún	-0,05	0,069	1	1	-0,00345		-0,25	
	Descuento filler	-0,05	0,069	1	1	-0,00345		-0,25	
	BETÚN modif.	0,00345	1	1	1	0,00345	855,11	2,95	
	FILLER	0,00345	1	1	1	0,00345	134,41	0,46	
RIEGO ADHERENCIA modif.		0,001	1	1	1	0,001	889,18 €	0,89 €	0,89 €
INTERMEDIA	Mezcla Bituminosa AC 22 bin S (S-20) árido calizo	2,47	1	1	0,06	0,1482	58,12	8,61	14,04 €
	Descuento betún	-0,05	0,1482	1	1	-0,00741		-0,43	
	BETÚN	0,00741	1	1	1	0,00741	790,85	5,86	
RIEGO ADHERENCIA		0,001	1	1	1	0,001	764,76 €	0,76 €	0,76 €
BASE	Mezcla Bituminosa AC 32 base S (S-25) árido calizo	2,4	1	1	0,08	0,192	53,75	10,32	17,40 €
	Descuento betún	-0,05	0,192	1	1	-0,0096		-0,52	
	BETÚN	0,0096	1	1	1	0,0096	790,85	7,59	
RIEGO ADHERENCIA		0,001	1	1	1	0,001	764,76 €	0,76 €	0,76 €
RIEGO CURADO		0,001	1	1	1	0,001	765,08 €	0,77 €	0,77 €
GRAVA CEMENTO		1	1	1	0,2	0,200	94,66 €	18,93 €	18,93 €
RIEGO CURADO		0,001	1	1	1	0,001	889,18 €	0,89 €	0,89 €
SUELO CEMENTO		1	1	1	0,22	0,220	39,63 €	8,72 €	8,72 €
								por M2	71,00 €

3 Conclusiones

Después de realizar la valoración económica de cada uno de los paquetes de firmes posibles, puede verse que la opción más económica es SECCIÓN 2.2 que obtiene el precio por m² más bajo después de incluir todos los puntos necesarios.

No obstante, otro de los puntos que es necesario valorar es la facilidad constructiva, siendo en este apartado la sección mejor valorada la SECCIÓN 1.1, ya en este apartado la SECCIÓN 2.2 necesita de diferentes riegos de curado al tener varias capas tratadas con cemento.

Una vez valorados los diferentes criterios, se opta por seleccionar la SECCIÓN 2.2, ya si es verdad que tiene un mayor coste de ejecución, pero la diferencia económica no es lo suficientemente significativa si se compara con el incremento de complejidad de la otra sección posible. Además de ser un paquete con la misma estructura que el existente.

Por todo lo anteriormente expuesto **la sección escogida es la SECCIÓN 1.1.**