

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO FIN DE GRADO

***PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO
DE LA INTERSECCIÓN ENTRE EL
RAMAL DE SALIDA DE LA A-8 Y LA N-
639 EN ZIERBENA (BIZKAIA)***

ANEJO V – FIRME

Alumna: Ramos Gómez, Nerea

Director: Pérez Acebo, Heriberto

Curso: 2017-2018

Fecha: Bilbao, 23 de Julio de 2018

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN	1
2. FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME	2
2.1. CATEGORÍA DE TRÁFICO DE PROYECTO	2
2.2. CATEGORÍA DE EXPLANADA MEJORADA.....	7
3. DEFINICIÓN DEL FIRME	10
3.1. CRITERIOS BÁSICOS.....	10
3.2. ELECCIÓN DEL FIRME	10
3.2.1. <i>Mezcla bituminosa</i>	13
3.2.2. <i>Riegos</i>	15
3.2.3. <i>Comparación económica</i>	16

1. Introducción

El objeto del presente Anejo es definir la sección estructural del firme a emplear en el presente Proyecto de acondicionamiento de la intersección entre el ramal de salida de la A-8 y la N-639 en Zierbena (Bizkaia).

Para definir el tipo de firme se parte de los datos del tráfico recogidos en el Anejo II: Estudio de tráfico.

Su dimensionamiento se ha llevado a cabo de acuerdo con lo expuesto en la Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012 y en la Instrucción 6.1-IC: “Secciones de firme” de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

2. Factores de dimensionamiento del firme

Se exponen a continuación los factores relacionados con el dimensionamiento del firme.

2.1. Categoría de tráfico de proyecto

La norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco considera para el dimensionamiento del firme las siguientes categorías de tráfico (*tabla 1*), clasificadas en función del Tráfico de Proyecto que se prevea para el carril de proyecto en el año de puesta en servicio.

CATEGORÍA		TP (en millones)
	T00	43,8 – 87,6
	T0	21,9 – 43,8
T1	T1A	15,3 – 21,9
	T1B	8,8 – 15,3
T2	T2A	4,4 – 8,8
	T2B	2,2 – 4,4
T3	T3A	1,1 – 2,2
	T3B	0,55 – 1,1
T4	T4A	0,27 – 0,55
	T4B	< 0,27

Tabla 1. Categorías de Tráfico de Proyecto. Fuente: “Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco” revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012.

Para la obtención de la categoría de tráfico se analizará mediante la estación de aforo número 54C, perteneciente a la N-634 ubicada en Zierbena, más concretamente en el tramo de La Cuesta – El Casal.

El cálculo del tráfico de proyecto se efectúa mediante la siguiente fórmula:

CÁLCULO DEL TRÁFICO DE PROYECTO

El Tráfico de Proyecto se calculará mediante la siguiente expresión:

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

Donde,

IMD_p^{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 de tráfico.

Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco"
revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012.

Cada variable se obtiene de la siguiente forma:

Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en el año de puesta en servicio del tramo

Actualización de la IMD de vehículos pesados

El valor de la IMD de vehículos pesados, estimada a partir de los resultados de aforos existentes o estudios específicos, se debe actualizar al año de puesta en servicio del tramo mediante la siguiente relación:

$$IMD_p^{APS} = IMD_p^{AFO} \cdot (1 + r)^P \quad [A1.1]$$

Siendo:

IMD_p^{APS} IMD de vehículos pesados en el año de puesta en servicio del tramo.

IMD_p^{AFO} IMD de vehículos pesados obtenida de estudios específicos o aforos de tráfico.

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.

P Periodo comprendido entre el año del aforo o estudio específico y el año previsto de puesta en servicio del tramo, en años.

Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco"
revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012.

En donde;

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 (Véase Ejemplo 1).

Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco"
revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012.

Por lo tanto;

Año de puesta en servicio: $2018 + 3 = 2021$

$$IMD_P^{2021} = IMD_P^{2016} \cdot (1 + r)^{2021-2016}$$

$$IMD_P^{2016} = 417 \text{ veh. pes./día}$$

$$r = 8,82\%$$

La tasa de crecimiento “r” y la Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en el año del aforo son las obtenidas en el apartado de la evolución del tráfico en el Anejo II: Estudio de tráfico.

$$IMD_P^{2021} = 417 \cdot (1 + 0,0882)^{2021-2016} = 636 \text{ veh. pes./día}$$

Factor de crecimiento del tráfico de vehículos pesados durante el periodo de proyecto

Factor de crecimiento del tráfico (F)

El factor de crecimiento F introduce en la estimación del tráfico el incremento de tráfico pesado que se espera que circule por la carretera durante el periodo de proyecto considerado. Depende de la tasa de crecimiento de este tipo de tráfico y del periodo de proyecto considerado; para una tasa de crecimiento constante, viene definido por la siguiente expresión:

$$F = [(1 + r)^n - 1] / r$$

Siendo,

r Tasa de crecimiento anual del tráfico de vehículos pesados

n Periodo de proyecto

Fuente: “Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco”
revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012.

En donde, la tasa de crecimiento sigue siendo 8,82% y el periodo de proyecto es el referente a 20 años.

Por lo tanto;

$$F = \frac{[(1 + r)^n - 1]}{r} = \frac{(1 + 0,0882)^{20} - 1}{0,0882} = 50,14$$

Coefficiente de ponderación de las cargas de tráfico

Coefficiente de ponderación (γ_T)

Para estimar el valor de este coeficiente, se deben conocer al menos los siguientes datos:

- Distribución del tráfico pesado por calzadas, en su caso, y por carriles.
- Factor de riesgo aceptado.
- Pendiente longitudinal del tramo objeto del proyecto.

El coeficiente de ponderación de las cargas de tráfico γ_T viene definido por la siguiente 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.

Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco" revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012.

- " γ_C " Coeficiente de asignación de tráfico pesado al carril de proyecto:

TIPO DE VÍA	DESCRIPCIÓN		γ_C
DE CALZADA ÚNICA	ANCHURA DE CALZADA	≥ 6 m	0,50
		≥ 5 y < 6 m	0,75
		< 5 m	1,00
DE DOBLE CALZADA	CARRILES POR SENTIDO(*)	2	0,50
		3 ó más	0,45

(*) En la asignación de carriles por sentido no se tendrán en cuenta los carriles de aceleración o deceleración, ramales, etc.

Tabla 2. Estimación del coeficiente γ_C . Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco" revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

Siendo la carretera en proyecto de calzada única y cuya anchura es mayor a 6 metros, se estima un valor de 0,50.

- " γ_R " Coeficiente que tiene en cuenta la variabilidad en la estimación del tráfico de proyecto:

TIPO DE RED	IMD de la carretera en el año puesta en servicio	γ_R
PRINCIPAL ^(*)	≥ 20.000	1,4
	10.000 – 20.000	1,3
	< 10.000	1,2
RESTO	≥ 2.000	1,1
	< 2.000	1,0

(*) Compuesta por todas las carreteras de la red de interés preferente, la red básica y la red complementaria.

Tabla 3. Estimación del coeficiente γ_R . Fuente: “Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco” revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

Por lo tanto, es necesario realizar el cálculo de la IMD de la carretera en el año 2021.

$$IMD^{2021} = IMD^{2016} \cdot (1 + r)^{2021-2016}$$

$$IMD^{2021} = 4392 \cdot (1 + 0,0267)^{2021-2016} = 5010 \text{ veh./día}$$

Se trata de una red nacional por lo que entra dentro del tipo de red principal, obteniendo así un coeficiente de 1,2.

- “ γ_R ” Coeficiente que tiene en cuenta la variabilidad en la estimación del tráfico de proyecto:

El coeficiente de mayoración γ_L se utiliza para tener en cuenta en el dimensionamiento la disminución de la rigidez que se produce en los materiales bituminosos en las zonas en rampa como consecuencia de la reducción de la velocidad de los vehículos pesados. Se adoptará un coeficiente de valor $\gamma_L = 1,3$ únicamente en aquellos subtramos del proyecto en rampa cuya pendiente longitudinal sea superior al 5% y se mantenga en una longitud de al menos 500 m. En el resto de los casos se tomará $\gamma_L = 1,0$.

Fuente: “Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco” revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

Analizando la carretera, no se encuentran tramos con gran pendientes durante una longitud prolongada, por lo cual el parámetro adecuado es 1,0.

El coeficiente de ponderación es:

$$\gamma_t = \gamma_c \times \gamma_R \times \gamma_L = 0,5 \times 1,2 \times 1 = 0,6$$

Se obtiene así la Categoría de Tráfico:

$$TP = IMD_P^{APS} \times 365 \times F \times \gamma_t = 636 \times 365 \times 50,14 \times 0,6 = 6\,983\,700 = 6,98 \text{ mill.}$$

Ante este resultado nos encontramos dentro del rango 4,4 – 8,8 millones, por lo tanto la categoría de tráfico de esta carretera será **T2A**.

2.2. Categoría de explanada mejorada

La norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco establece tres categorías de Explanada Mejorada en función de su capacidad de soporte, denominadas EX1, EX2 y EX3. La categoría mínima necesaria será en función del Tráfico de Proyecto (*tabla 4*).

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

Tabla 4. Categoría necesaria de explanada mejorada. Fuente: “Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco” revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

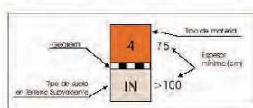
Por lo que las categorías de explanada mejorada que se llevarán a estudio serán la EX2 y EX3, las cuales poseen las siguientes capacidades de soporte;

CATEGORÍA DE EXPLANADA MEJORADA	E _{v2} SEGÚN NORMA NLT-357/98	K (E _{v2} /E _{v1}) SEGÚN NORMA NLT-357/98	
		Densidad exigida ≥ 103% PM	Densidad exigida < 103% PM
EX1	≥ 120 MPa	≤ 2,2	≤ 2,5
EX2	≥ 200 MPa		
EX3	≥ 300 MPa		

Tabla 5. Capacidad de soporte mínima del plano de explanada. Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco" revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

En la tabla que a continuación se expone (tabla 6), se definen las soluciones posibles de Explanada Mejorada en función de su categoría y del tipo de Terreno Subyacente. El terreno subyacente de este proyecto se trata de rellenos todo-uno correspondientes al terraplen existente hoy en día, tal y cómo se ha establecido en el Anejo III. Geología y geotécnia, este tipo de de apoyo se asimila a uno de suelo seleccionado tipo 2, según el artículo 333 del PG-3.

T.S.	INADECUADO IN	TOLERABLE 0	ADECUADO 1	SELECCIONADO	ROCA
EX1					
EX2					
EX3					



(1) Previa autorización de la Dirección de la Obra se podría evitar la colocación de esta capa con un refino adecuado del fondo de desmonte.

Tabla 6. Catálogo de Secciones de Explanada Mejorada. Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco" revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

SÍMBOLO	MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
3	Suelo Seleccionado Tipo 3	Según prescripciones del art. 330 del PG-3	CBR(**) \geq 20
4	Suelo Seleccionado Tipo 4		CBR(**) \geq 40 IP<6 y LL<25
S-EST1	Suelo Estabilizado In Situ Tipo S-EST1	Según prescripciones del art. 512 del PG-3	El conglomerante se podrá introducir en forma de polvo o en lechada, reduciéndose en este último caso el contenido mínimo en un 0,5% en peso
S-EST2	Suelo Estabilizado In Situ Tipo S-EST2		
S-EST3	Suelo Estabilizado In Situ Tipo S-EST3(*)		
GTX	Geotextil	Según prescripciones del art. 422 del PG-3	—

(*) Si sobre un suelo estabilizado tipo S-EST3 se coloca una capa granular permeable se debe estudiar especialmente el drenaje del agua infiltrada a través del firme.

(**) A efectos de determinación del CBR de los suelos para la Explanada Mejorada. Se compactarán las probetas con el 98% de la densidad Proctor Modificado.

Tabla 7. Materiales para la explanada mejorada. Fuente: “Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco” revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

Por lo tanto, analizaremos las siguientes opciones:

EX2:

- 30 centímetros de Suelo Seleccionado Tipo 3 o Tipo 4 y más de 100 centímetros del terreno existente

EX3:

-22 centímetros de Suelo Estabilizado In Situ Tipo S-EST3 y más de 100 centímetros del suelo actual.

- 50 centímetros de Suelo Seleccionado Tipo 4 y un espesor del terreno actual mayor de 100 centímetros.

3. Definición del firme

3.1. Criterios básicos

Para el dimensionamiento del firme en el tramo en proyecto se analizarán las alternativas propuestas pro la Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco, eligiendo la más adecuada siguiendo el criterio económico, técnico y constructivo.

3.2. Elección del firme

En el siguiente cuadro (*tabla 8*) se representa las diferentes posibilidades de firmes que nos proporciona la norma, donde se clasifican en función del firme que se desee.

TIPO	DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FIRME	SUBTIPO	CARACTERÍSTICA
1	Firmes flexibles y semiflexibles	1.1	Mezcla bituminosa sobre capa granular
		1.2	Firme totalmente asfáltico
2	Firmes semirrígidos sobre materiales tratados con cemento	2.1	Mezcla bituminosa sobre suelocemento
		2.2	Mezcla bituminosa sobre gravacemento y suelocemento
		2.3	Mezcla bituminosa sobre gravacemento y explanada

Tabla 8. Definición de secciones tipo. Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco" revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

Conociendo cada subtipo y la categoría de tráfico, se obtienen las distintas alternativas;

- Secciones tipo 1.1. (*tabla 9*): Mezcla bituminosa sobre capa granular.
EX2: 24 cm de mezcla bituminosa y 25 cm de zahorra artificial.
EX3: 19 cm de mezcla bituminosa y 25 cm de zahorra artificial.
Además la norma advierte que este tipo de sección solamente se podrá utilizar cuando la coronación de la explanada sea de suelo seleccionado tipo 4.

		EX1	EX2	EX3 (*)
T2	T2A	--	24 MEZCLAS BITUMINOSAS 25 SUELOCIMENTO	19 MEZCLAS BITUMINOSAS 25 SUELOCIMENTO
	T2B	20 MEZCLAS BITUMINOSAS 35 SUELOCIMENTO	20 MEZCLAS BITUMINOSAS 25 SUELOCIMENTO	16 MEZCLAS BITUMINOSAS 25 SUELOCIMENTO

Tabla 9. Secciones tipo 1.1. Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco" revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

- Secciones tipo 1.2.(tabla 10): Firme totalmente asfáltico.
EX2: No es posible establecer un firme totalmente asfáltico en categorías de tráfico 2.

		EX1	EX2	EX3 (*)
T2		--	--	--

Tabla 10. Secciones tipo 1.2. Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco" revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

- Secciones tipo 2.1.(tabla 11): Mezcla bituminosa sobre suelocemento.
EX2: 21 cm de mezcla bituminosa y 25 cm de suelocemento.
EX3: 16 cm de mezcla bituminosa y 25 cm de suelocemento.

		EX1	EX2	EX3
T2	T2A	--	21 MEZCLA BITUMINOSA 25 SUELOCIMENTO	16 MEZCLA BITUMINOSA 25 SUELOCIMENTO
	T2B	23 MEZCLA BITUMINOSA 25 SUELOCIMENTO	20 MEZCLA BITUMINOSA 25 SUELOCIMENTO	15 MEZCLA BITUMINOSA 25 SUELOCIMENTO

Tabla 11. Secciones tipo 2.1. Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco" revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

- Secciones tipo 2.2. (tabla 12): Mezcla bituminosa sobre gravacemento y suelocemento.
EX2: 15 cm de mezcla bituminosa, 20 cm de gravacemento y 20 cm de suelocemento.
EX3: No es posible.

		EX1	EX2	EX3
T2		--	15 MEZCLA BITUMINOSA 20 GRAVACEMIENTO 20 SUELOCIMENTO	--

Tabla 12. Secciones tipo 2.2. Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco" revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

- Secciones tipo 2.3.(tabla 13): Mezcla bituminosa sobre gravacemento y explanada.

EX2: No es posible esta combinación.

EX3: 15 cm de mezcla bituminosa y 25 cm de gravacemento.

	EX1	EX2	EX3
T2	-	-	

Tabla 13. Secciones tipo 2.3.Fuente: “Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco” revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

Teóricamente las secciones que mejor resistirán a fatiga son las respectivas a las capas tratadas con cemento (Secciones tipo 2.1., 2.2. y 2.3.). Sin embargo, es preciso tener en cuenta que este tipo de secciones presentan algunos inconvenientes derivados según la “Nota de servicio sobre capas tratadas con cemento (suelo-cemento y gravacemento)” de 13 de Mayo de 1992, de los siguientes factores:

- Producción de fisuraciones importantes, que se reflejan en superficie, motivadas por la insuficiente calidad de algunos suelos o gravas y de altas dosificaciones del cemento.
- Condiciones de puesta en obra en épocas climáticas extremas (verano o invierno) que favorecen los fenómenos de contracción-retracción.
- Puesta en obra de las capas de aglomerado, antes de que se haya producido el primer agrietamiento por retracción hidráulica.
- Pérdida de la capacidad estructural si se le aplican cargas inmediatamente a su ejecución, debiendo evitar el paso del tráfico de obras.

En resumen, la ejecución de firmes basados en capas tratadas con cemento exige tomar un conjunto de precauciones en cuanto a la calidad de los materiales, dosificación de cemento, plan de obra y limitaciones al tráfico de la obra, por lo cual queda descartado para esta obra.

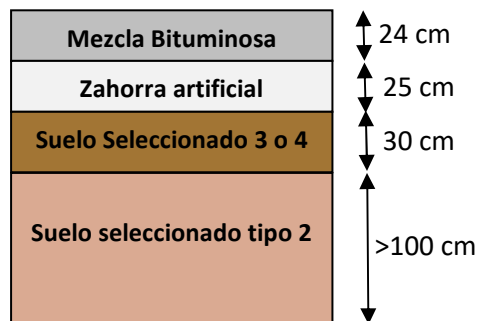
Además, existe disponibilidad de zahorra artificial de suficiente calidad en las canteras de caliza cercanas a la obra, para

suministro de este material a obra, sin recurrir a nuevos préstamos de materiales para suelocemento y gravacemento.

Se debe tener en cuenta el tipo de firme de la calzada existente, ya que se va a llevar a cabo una ampliación de un tercer carril, siendo recomendable la similitud de los materiales en la diferentes capas del firme.

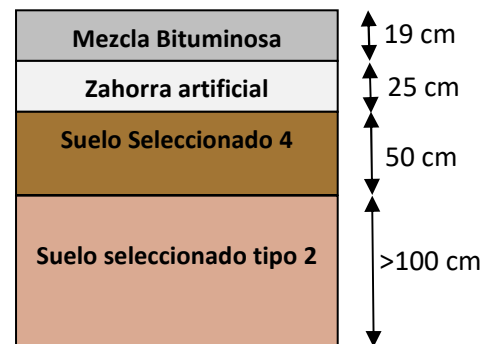
Finalmente, se opta por las secciones tipo 1.1., en dónde se realizará un estudio económico para determinar la mejor opción (explanada 2 o 3).

T2 – EX2 – Sección 1.1.



Croquis T2 – EX2- Sección 1.1

T2 – EX3 – Sección 1.1.



Croquis T2 – EX3- Sección 1.1

3.2.1. Mezcla bituminosa

Dentro de la mezcla bituminosa, se distinguen las distintas capas, por un lado la capa de rodadura, y por otro lado, la capa intermedia y la capa base.

A la hora de seleccionar el material más adecuado se distinguen las vías con velocidades específicas mayores de 90 km/h y las de menor velocidad, además también se tiene en cuenta la inclinación del tramo a asfaltar. En este caso nos encontramos ante una vía de 50 km/h y una inclinación inferior al 5%.

En el caso de las capas intermedias y base, se hace referencia al tipo de material en la capa superior.

Tipos de mezcla en la capa de rodadura:

Velocidad específica del tramo(km/h)	Inclinación (%)	Categoría de tráfico pesado	Espesor (cm) y tipo de mezcla bituminosa en capa de rodadura							
			AC D	AC S	PA ^(*)	BBTM A	BBTM B	MAF	TS	MICROF
>90	<5	T00 - T2A		6 (AC22 surf S)	4 (PA 11)	3 (BBTM 11/8 A)	3 (BBTM 11/8 B)			
		T2B - T3A		5 (AC16 surf S)						
		T3B						6 (AF20)		
		T4		4 - 5 (AC16 surf S)	4 (PA 11)	3 (BBTM 11/8 A)	3 (BBTM 11/8 B)	4-5 (AF12)		(MICROF 8) ⁽²⁾
	≥5	T00 - T2A			6 (AC22 surf S)	4 (PA 11)	3 (BBTM 11/8 A)	3 (BBTM 11/8 B)		
		T2B - T3A			5 (AC16 surf S)					
		T3B						6 ⁽¹⁾ (AF20)		
		T4		4 - 5 (AC16 surf S)	3 (BBTM 11/8 A)			4-5 ⁽¹⁾ (AF12)		(MICROF 8) ⁽²⁾
≤90	<5	T00 - T2A		6 (AC22 surf S)	4 (PA 11)	3 (BBTM 11/8 A)	3 (BBTM 11/8 B)			
		T2B - T3A		5 (AC16 surf S)						
		T3B		4 - 5 (AC16 surf S)	4 (PA 11)	3 (BBTM 11/8 A)	3 (BBTM 11/8 B)	6 (AF20)		
		T4		4 - 5 (AC16 surf D)	4 - 5 (AC16 surf S)	3 (BBTM 11/8 A)	3 (BBTM 11/8 B)	4-5 (AF12)	(DTS o TTS) ⁽¹⁾	(MICROF 8) ⁽²⁾
	≥5	T00 - T2A			6 (AC22 surf S)	4 (PA 11)	3 (BBTM 11/8 A)	3 (BBTM 11/8 B)		
		T2B - T3A			5 (AC16 surf S)					
		T3B			4 - 5 (AC16 surf S)	3 (BBTM 11/8 A)			6 ⁽¹⁾ (AF20)	
		T4		4 - 5 (AC16 surf D)	4 - 5 (AC16 surf S)	3 (BBTM 11/8 A)		4-5 ⁽¹⁾ (AF12)	(DTS o TTS) ⁽¹⁾	(MICROF 8) ⁽²⁾

ESPECIALMENTE RECOMENDABLE.

UTILIZABLE

(*) NOTA ESPECIAL SOBRE CAPAS DRENANTES:

Se podrán emplear únicamente si la IMD de la vía es superior a 2000 vehículos y, salvo justificación en contrario mediante estudio especial, si la categoría de tráfico pesado es inferior a T00. En cualquier caso, no se emplearán si concurre cualquiera de las siguientes circunstancias:

- Zonas con heladas o nevadas frecuentes.
- Tramos con curvas cerradas (R < 200 m) y categoría de tráfico pesado T2 ó superior.
- Zonas con frecuentes accesos en tierra (más de 1 acceso no pavimentado por km), a menos que se pavimenten los 100 m anteriores al acceso.
- Zonas que vayan a estar afectadas por obras colindantes en los primeros años de servicio del tramo.
- En tableros de viaductos que puedan tener problemas de heladas, en calles urbanas, o en túneles.
- Tramos de longitud inferior a 1 km, a menos que sean continuación de otros tramos con mezclas drenantes o que sean puntos específicos en los que haya que facilitar el drenaje.

Tabla 14. Utilización de mezclas bituminosas en la capa de rodadura. Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco" revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

Las mezclas bituminosas del tipo drenante (PA) no se tendrá en cuenta ya que el tramo a asfaltar será menos a 1km.

Tipos de mezcla en la capa intermedia y en la capa base:

Capa	Tipo mezcla en capa superior	Categoría de tráfico pesado	Espesor (cm) y tipo de mezcla bituminosa				
			AC S	AC D	AC G	AC MAM	GE
Intermedia ⁽¹⁾	AC S ó D	T00 - T3A	6 - 9 (AC22 bin S)			7 - 9 (AC bin 22 MAM)	
		T3B	5 (AC 16 bin S) ó 6 - 9 (AC22 bin S)	5 (AC 16 bin D) ó 6 - 9 (AC22 bin D)			
		T4	4 - 5 (AC 16 bin S) ó 6 - 9 (AC22 bin S)	4 - 5 (AC 16 bin D) ó 6 - 9 (AC22 bin D)			
	PA ó BBTM A ó B	T00 - T3A	7 - 9 (AC22 bin S)	6 - 9 (AC22 bin D)		7 - 9 (AC bin 22 MAM)	
		T3B - T4B	6 - 9 (AC22 bin S)	6 - 9 (AC22 bin D)			
	MAF, TS ó MICROF	T3B - T4B	5 (AC 16 bin S) ó 6 - 9 (AC22 bin S)	5 (AC 16 bin D) ó 6 - 9 (AC22 bin D)			5-9 (GEA 1)
Base ⁽²⁾	AC S ó D	T00 - T3A	7 - 9 (AC 22 base S) ó 8 - 15 (AC32 base S)		7 - 9 (AC 22 base G) ó 8 - 15 (AC32 base G)	7 - 13 (AC base 22 MAM)	
		T3B - T4	6 - 9 (AC 22 base S) ó 8 - 15 (AC32 base S)		6 - 9 (AC 22 base G) ó 8 - 15 (AC32 base G)		
	AC MAM	T00 - T3A				7 - 13 (AC base 22 MAM)	
	GE	T3B - T4					5-12 (GEA 1)

ESPECIALMENTE RECOMENDABLE.

UTILIZABLE

NOTAS:

(1) Esta capa puede no existir. En cualquier caso, su espesor será al menos igual al de la capa de rodadura.

(2) Puede haber una o más capas de base, en función del espesor total del paquete bituminoso. En cualquier caso, el espesor de cada capa será al menos igual al de la capa inmediatamente superior.

Tabla 15. Utilización de mezclas bituminosas en las capas inferiores. Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco" revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

Las mezclas bituminosas de alto módulo (MAM) solamente se podrán establecer en secciones cuyo espesor total de mezcla bituminosa sea igual o superior a 25 cm según establece la

norma 61. IC Secciones de firme del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Por lo tanto, queda descartada esta opción.

Además, la norma señala en color verde las mezclas especialmente recomendables y en amarillo las utilizables, por lo que siguiendo las indicaciones se optará por una capa base de mezcla bituminosa en caliente del tipo Semidensa.

3.2.2. Riegos

Es necesario establecer ciertos riegos entre las distintas capas de la sección para garantizar la durabilidad y la aptitud de los materiales seleccionados.

Se diferencian los siguientes riegos:

Riegos de adherencia

Se efectuará un riego de adherencia según lo indicado en el art. 531 del PG-3, sobre las capas cohesionadas del firme (suelocemento, gravacemento o mezcla bituminosa) que vayan a recibir sobre ellas una capa de mezcla bituminosa. Se recomienda especialmente la utilización de emulsiones termoadherentes.

Riegos de imprimación

Se efectuará un riego de imprimación según lo indicado en el art. 530 del PG-3, sobre las zahorras artificiales que vayan a recibir una capa de mezcla bituminosa o un tratamiento superficial.

Riegos de curado

Se efectuará un riego de curado, según lo indicado en el art. 532 del PG-3, sobre todos los materiales tratados con conglomerantes hidráulicos. El riego de curado se deberá barrer de forma enérgica previamente a la colocación de una capa superior o la extensión de un riego de adherencia.

Fuente: "Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco" revisada y ampliada el 12 de noviembre de 2012

Por lo tanto, sería necesario aplicar un riego de adherencia entre las capas de rodadura, intermedia y base, y además un riego de imprimación sobre la zahorra artificial.

Los riegos utilizados poseen las siguientes características:

- Riego de imprimación:

La emulsión a emplear será de rotura lenta y del tipo ECL-1, con una dotación de 2 Kg/m²

- Riego de adherencia:

La emulsión a emplear será de rotura rápida y del tipo ECR-1 con una dotación de 0.5 Kg/m²

3.2.3. Comparación económica

Se procede a realizar una comparación económica de las posibles opciones, para ello se ha obtenido los costes aproximados mediante la Base de Precios de Edificación y Urbanización del País Vasco.

A continuación, se muestran los costes de cada variable, en el caso de las mezclas bituminosas, los costes contienen también el betún del tipo B50/70 y el filler de aportación propios de estas mezclas, además se estima una densidad de 2,5 T/m³.

Capa de rodadura:	Ud.	Coste [€/Ud.]
AC22 surf S - B50/70	T	49,36
BBTM 8 A - B50/70	m2	2,44
BBTM 8 B - B50/70	m2	2,45
BBTM 11 A/B B50/70	m2	2,74
Capa intermedia		
AC22 bin S B50/70	T	49,65
AC22 bin D B50/70	T	51,83
Capa base		
AC22/32 base S B50/70	T	49,65
Riegos		
Riego de adherencia	T	357,24
Riego imprimación	T	344,24
Zahorra artificial 98%	m3	32,03
Suelo seleccionado	m3	16,61

EXPLANADA 2

Opción 1

Espesor [cm]	Nombre de la capa	Coste [€/m2]
3	BBTM 8 A - B50/70	2,44
Riego de adherencia		0,45
6	AC22 bin S B50/70	7,45
Riego de adherencia		0,45
15	AC22/32 base S B50/70	18,62
Riego de imprimación		1,72

25	Zahorra artificial 98%	8,01
30	Suelo seleccionado	4,98
79 cm		44,11€/m²

Opción 2

Espesor [cm]	Nombre de la capa	Coste [€/m²]
6	AC22 surf S - B50/70	7,40
Riego de adherencia		0,45
6	AC22 bin S B50/70	7,45
Riego de adherencia		0,45
12	AC22/32 base S B50/70	14,90
Riego de imprimación		1,72
25	Zahorra artificial 98%	8,01
30	Suelo seleccionado	4,98
79 cm		45,35€/m²

EXPLNADA 3

Opción 3

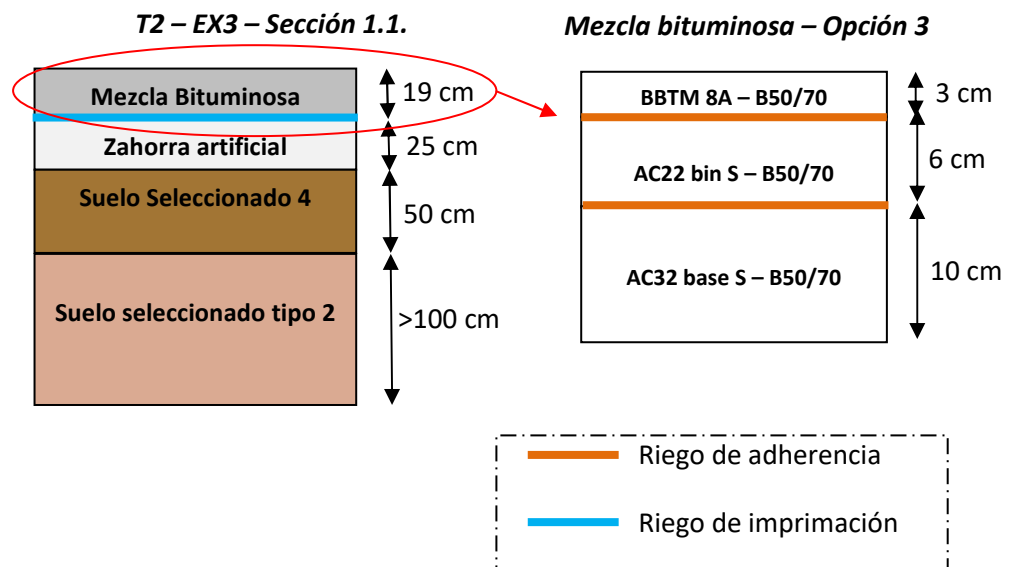
Espesor [cm]	Nombre de la capa	Coste [€/m²]
3	BBTM 8 A - B50/70	2,44
Riego de adherencia		0,45
6	AC22 bin S B50/70	7,45
Riego de adherencia		0,45
10	AC22/32 base S B50/70	12,41
Riego de imprimación		1,72
25	Zahorra artificial 98%	8,01
50	Suelo seleccionado	8,31
94 cm		41,23 €/m²

Opción 4

Espesor [cm]	Nombre de la capa	Coste [€/m ²]
6	AC22 surf S - B50/70	7,40
Riego de adherencia		0,45
13	AC22/32 base S B50/70	16,14
Riego de imprimación		1,72
25	Zahorra artificial 98%	8,01
50	Suelo seleccionado	8,31
94 cm		42,02 €/m²

En resumen, se obtiene que la opción más económica es la correspondiente a la explanada 3, opción 3, con un coste de 41,23€ por metro cuadrado de superficie.

Se expone a continuación la sección de firme seleccionada:



Este tipo de sección será la utilizada para la calzada y arcenes, en cambio en la berma se realizará únicamente mediante zahorra artificial.