



DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES

ÍNDICE

1. Introducción
2. Bibliografía consultada
3. Dimensionamiento del firme
 - 3.1. Categoría de tráfico pesado
 - 3.2. Explanada
 - 3.3. Sección de firme
 - 3.4. Ligante bituminoso

Apéndice 1. Cálculos para determinar la categoría de tráfico pesado



1. Introducción

El objeto de este anejo es el dimensionamiento del firme de la carretera, atendiendo a la norma 6.1 IC “Secciones de Firme” aprobada por la orden FOM/3460/2003, la cual establece los criterios básicos que deben considerarse en el proyecto de los firmes de carreteras de nueva construcción.

Se pretende seleccionar la sección estructural más adecuada, atendiendo a criterios económicos, técnicos y medioambientales.

2. Bibliografía consultada

Norma 6.1 IC “Secciones de firme”.

Artículo 512 del PG-3: “Suelos estabilizados in situ”.

Artículo 542 del PG-3: Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso.

Artículo 543 del PG-3: “Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas.”

Página web de la Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio.

3. Dimensionamiento del firme

3.1. Categoría de tráfico pesado

La estructura del firme deberá adecuarse, entre otros factores, a la acción prevista del tráfico, fundamentalmente del más pesado, durante la vida útil del firme. Por ello, la sección estructural del firme dependerá en primer lugar de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) que se prevea en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio. Dicha intensidad se utilizará para establecer la categoría de tráfico pesado.

Para el cálculo de la categoría de tráfico pesado, se realizó un aforo de cobertura de tres horas a fecha de 22 de junio de 2.015. Dicho aforo tuvo lugar desde las 08.00h hasta las 11.00h.

Los vehículos totales que pasaron por el punto de medida en este tiempo fueron 167, de los cuales un 7% corresponden a vehículos pesados. En el Apéndice 1 del presente documento pueden consultarse los cálculos necesarios para determinar la categoría de tráfico pesado.

Para el año de puesta en servicio, 2.018, la IMD calculada es de 999.78 veh/día. Tomando por consideración que los vehículos pesados corresponden a un 7% de la IMD y que en calzadas de dos carriles y con doble sentido de circulación incide sobre cada carril la mitad de los vehículos pesados que circulan, se obtiene un total de 34.99 vehículos pesados.

$$IMDp_{\text{carril}} = (999.78/2) \times 0.07 = 35 \text{ vehículos pesados por carril}$$

La norma 6.1 IC “Secciones de firme” establece 8 categorías de tráfico pesado, según la IMDp que se prevea para el carril de proyecto en el año de puesta en servicio.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T00	T0	T1	T2
IMDp (vehículos pesados/día)	$\geq 4\,000$	$< 4\,000$ $\geq 2\,000$	$< 2\,000$ ≥ 800	< 800 ≥ 200

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T31	T32	T41	T42
IMDp (vehículos pesados/día)	< 200 ≥ 100	< 100 ≥ 50	< 50 ≥ 25	< 25

Imagen 1. Categorías de tráfico pesado

Por tanto, la categoría de tráfico pesado corresponde a T41, ya que $25 \leq \text{vehículos pesados/día} < 50$.

3.2. Explanada

A los efectos de definir la estructura del firme en cada caso, se establecen tres categorías de explanada, determinadas según el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (E_{v2}), obtenido de acuerdo con la NLT-357 “Ensayo de carga con placa”. Dichos valores se recogen en la imagen 2.

CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
E_{v2} (MPa)	≥ 60	≥ 120	≥ 300

Imagen 2. Categoría de explanada.

La formación de las explanadas de las distintas categorías se recoge en la imagen 3, dependiendo del tipo de suelo de la explanación o de la obra de tierra subyacente, y de las características y espesores de los materiales disponibles.

		TIPOS DE SUELOS DE LA EXPLANACIÓN (DESMONTES) O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (TERRAPLENES, PEDRAPLENES O RELLENOS TODO-UNO)				
		SUELOS INADECUADOS Y MARGINALES (IN)	SUELOS TOLERABLES (0)	SUELOS ADECUADOS (1)	SUELOS SELECCIONADOS (2) y (3)	ROCA (R)
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1 $E_{v2} \geq 60 \text{ MPa}$					
	E2 $E_{v2} \geq 120 \text{ MPa}$					
	E3 $E_{v2} \geq 300 \text{ MPa}$					

IN Suelo inadecuado o marginal (Art. 330 del PG-3)

0 Suelo tolerable (Art. 330 del PG-3)

1 Suelo adecuado (Art. 330 del PG-3)

2 Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)

3 Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)

S-EST 1 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

S-EST 2 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

S-EST 3 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

HM-20 Hormigón (Art. 610 del PG-3)

tipo de material

espesor mínimo en cm

suelo de explanación o de la obra de tierra subyacente

Imagen 3. Formación de la explanada.

Basándonos en los datos geotécnicos obtenidos en el estudio y en los datos de tráfico, se decide disponer una explanada E1 ($E_{v2} = 60 \text{ MPa}$). La norma 6.1 IC “Secciones de firme” recomienda, para la capa superior utilizada en la formación de explanadas, la consideración preferente de suelos estabilizados in situ, con cal o con cemento, frente a una aportación directa de suelos sin tratar, por razones de durabilidad y uniformidad de la capacidad estructural en toda la traza.

Por tanto, la solución adoptada corresponde a la reflejada a continuación.

S-EST 1	30
Suelo adecuado	50

3.3. Sección de firme

En la norma 6.1 IC “Secciones de firme” se ha optado, para el dimensionamiento de las secciones de firme, por el procedimiento más generalizado entre las Administraciones de Carreteras. Se basa, fundamentalmente, en las relaciones, en cada tipo de sección estructural, entre las intensidades de tráfico pesado y los niveles de deterioro admisibles al final de la vida útil, además de comprobaciones analíticas.

En la imagen 4 se recoge el catálogo de secciones de firme para la categoría de tráfico pesado T41, disponiendo una explanada E1.

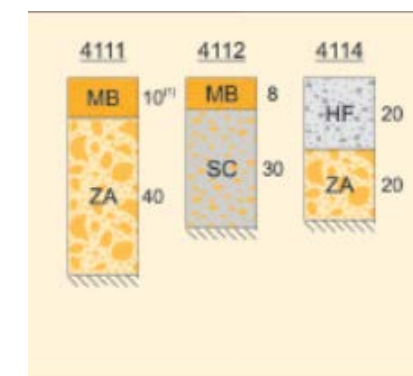


Imagen 4. Secciones de firme.

La sección 4114 corresponde a un firme rígido, por lo que se descarta por el poco uso de firmes de hormigón en España, mientras que la opción 4112 se descarta porque disponer cemento requiere tener que prefisurar la carretera cada cierto tiempo, lo cual resulta antieconómico e inviable en el presente proyecto.

Por tanto, se opta por disponer una sección de firme 4111.

El espesor de la capa de mezcla bituminosa vendrá determinado por los valores dados en la imagen 6, correspondientes 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 y T4 (T41 y T42)
Rodadura	PA	4		
	M	3	2-3	
	F			
	D y S		6-5	5
Intermedia	D y S	5-10 ^(**)		
Base	S y G	7-15		
	MAM	7-13		

Imagen 5. Espesor de capas de mezclas bituminosas en caliente

Se dispondrán 3 cm en la capa de rodadura de mezcla bituminosa tipo M y 7 cm en la capa base de mezcla bituminosa tipo S, eliminando la capa intermedia.

Las mezclas discontinuas ofrecen una excelente macrotextura, adecuada para mejorar la seguridad de rodadura con lluvia y pavimento mojado. Además ayudan a reducir el ruido de rodadura.

En la imagen 6 se puede observar el dimensionamiento final del firme.

Capa	Material	Espesor (cm)
MBC Rodadura	BBTM 11B	3
Riego de adherencia C60B4 ADH		
MBC Base	AC 22 Base S	7
Riego de imprimación C60BF5 IMP		
Subbase	Zahorra artificial	40

Imagen 6. Dimensionamiento del firme.

3.4. Ligante bituminoso

Para la elección del tipo de ligante bituminoso, así como para la relación entre su dosificación en masa y la del polvo mineral, se tendrá en cuenta la zona térmica estival definida en la imagen 7.

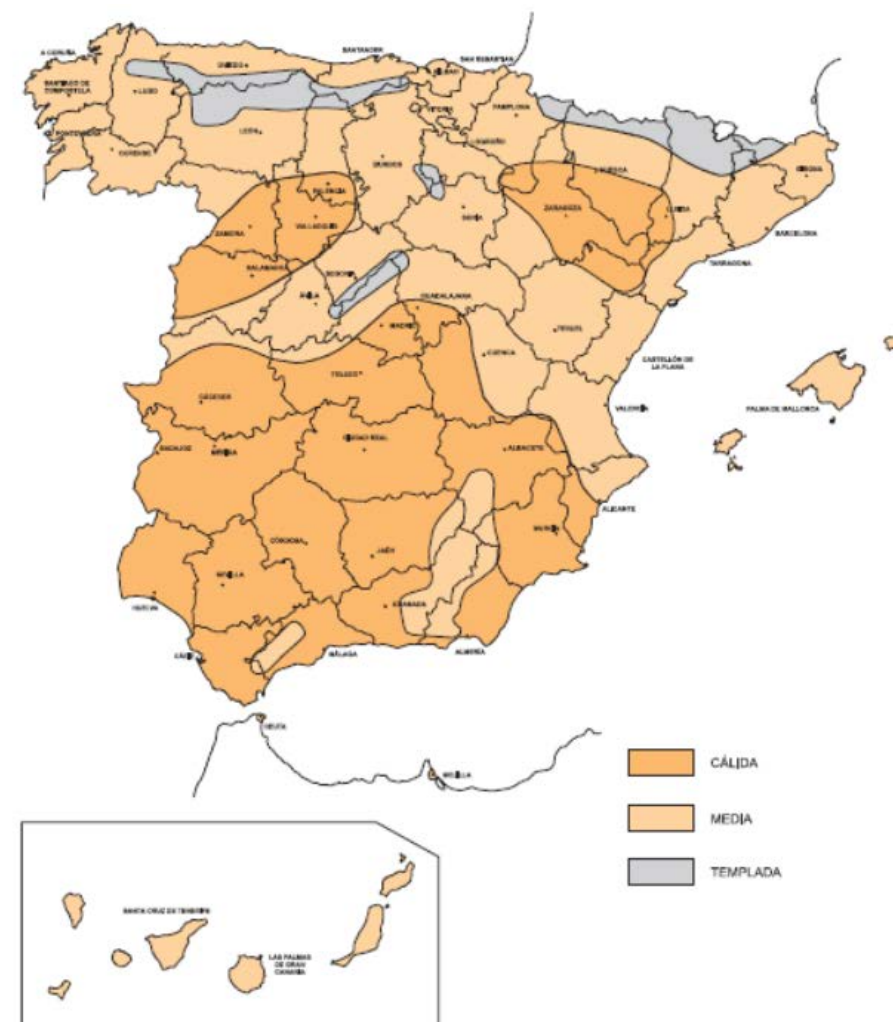


Imagen 7. Zonas térmicas estivales.

Según el mapa que define las zonas térmicas estivales en la norma 6.1 IC "Secciones de firme", a la zona del proyecto se le asigna la categoría de media.

Las mezclas discontinuas se rigen por el artículo 543 del PG-3, con lo que teniendo en cuenta las disposiciones que en este aparecen se escoge un ligante bituminoso 50/70.



La dotación mínima de ligante (porcentaje en masa sobre el total de la mezcla) será de 4.75%, según el artículo 543 del PG-3

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00 y T0	T1	T2 (**) y T31	T32 y ARCENES	T4
DISCONTINUA	PMB 45/80-65	PMB 45/80-65 PMB 45/80-60	PMB 45/80-60 50/70 BC50/70	50/70 70/100 BC50/70	
DRENANTE	PMB 45/80-65	PMB 45/80-65 PMB 45/80-60	PMB 45/80-60 50/70 BC50/70	50/70 70/100 BC50/70	

Imagen 8. Tabla de ligante hidrocarbonado a emplear en capa de rodadura.

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	

Imagen 9. Tipo, composición y dotación de la mezcla.

Para la mezcla de la capa base, de tipo semidensa, se tendrán en cuenta las disposiciones presentes en el artículo 542 del PG-3, además de la consideración de que nos encontramos en una zona térmica de categoría media. Por tanto, el tipo de ligante que se empleará será el mismo que en la capa de rodadura, ligante bituminoso 50/70.

La dotación mínima de ligante (porcentaje en masa sobre el total de la mezcla) será de 4%, según el artículo 542 del PG-3.

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 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			

Imagen 10. Tabla de ligante hidrocarbonado a emplear en capa de rodadura y siguiente.

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

Imagen 11. Tipo, composición y dotación de la mezcla.



Apéndice 1: Cálculos para determinar la categoría de tráfico pesado

1. Cálculos para determinar la categoría de tráfico pesado

Como se ha mencionado anteriormente, se realizó un aforo de cobertura de tres horas de duración (08.00-11.00h) a fecha de 22 de Junio de 2.015.

En esta medición, se contabilizaron 167 vehículos, de los cuales un 7% correspondieron a vehículos pesados.

Para calcular la Intensidad Media Diaria, IMD en adelante, del año 2.015 ha sido necesario apoyarse en los datos de las memorias anuales de aforos realizados en la Comunidad Valencia, en el presente caso en Alicante.

Los datos de tráfico de la Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio que se han consultado son los correspondientes al tramo 700030. En la imagen 1 se pueden ver dichos datos.

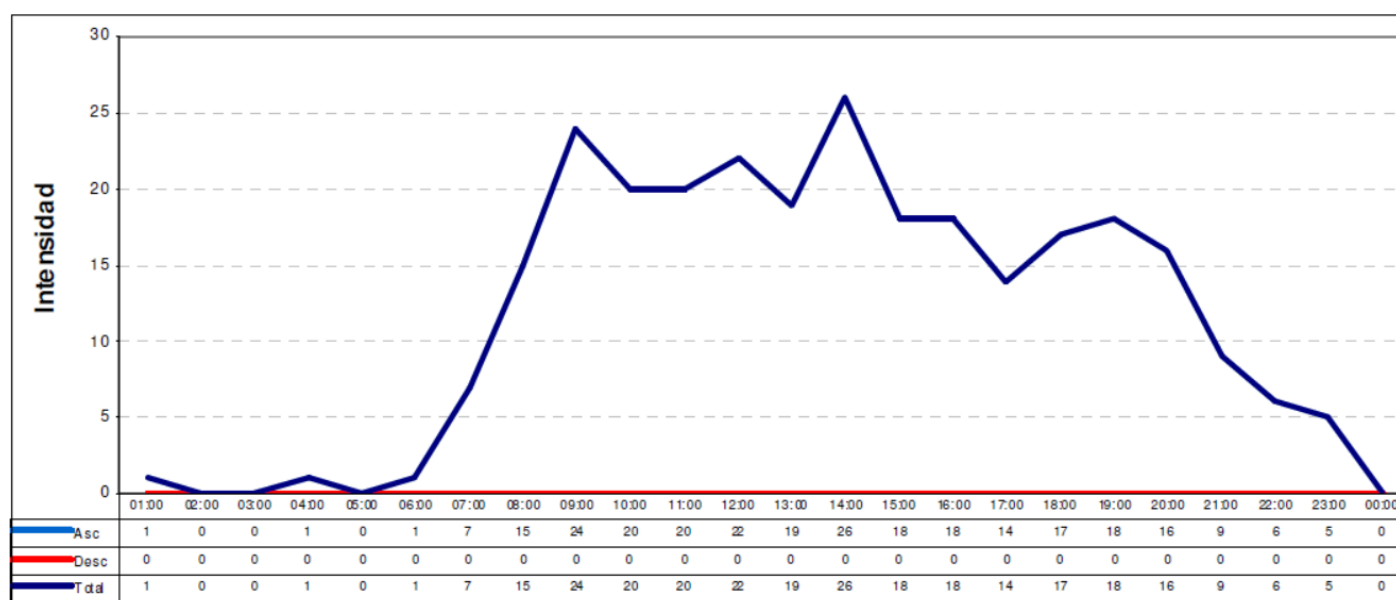


Imagen 1. Distribución horaria del tráfico

En primer lugar se calculó la intensidad de tráfico en un día laboral de junio, al ser el mes en el que se llevó a cabo el aforo. Los datos de A se refieren a los datos en el mismo punto de medición y, los datos de B se refieren a los datos consultados en conselleria.

$$I(A)_{I,8-11,jun} \rightarrow I(A)_{I,24h,jun}$$

$$I(B)_{I,8-11,jun} \rightarrow I(B)_{I,24h,jun}$$

Siendo:

$I(A)_{I,8-11,jun}$: el dato tomado en el aforo realizado el 22 de Junio de 2.015, 167 vehículos.

$I(B)_{I,8-11,jun}$: el dato correspondiente a la suma de los vehículos contabilizados de 08.00-11.00h de la imagen 1, $15+24+20=59$ vehículos.

$I(B)_{I,24h,jun}$: el dato correspondiente a la suma de los vehículos contabilizados en 24 horas de la imagen 1,

$$1+1+1+7+15+24+20+20+22+19+26+18+18+14+17+18+16+9+6+5=277 \text{ vehículos.}$$

Con estos datos, la intensidad en un día laboral de junio resulta:

$$I(A)_{I,24h,jun}=784,05 \text{ veh/día}$$

En cuanto a los días laborales entre los meses comprendidos entre Septiembre y Junio, se tomaron de los datos disponibles en la página web de Conselleria, mostrados en la imagen 2.

Mes	Día Medio			Día Laborable			Día Sábado			Día Domingo		
	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.
Feb	-	-	-	222	-	-	-	-	-	-	-	-
Jul	-	-	-	557	-	-	-	-	-	-	-	-
Dic	-	-	-	316	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Imagen 2. Datos de Conselleria

Siguiendo los datos de la anterior imagen, la intensidad de vehículos un día laboral comprendido entre los meses de Septiembre a Junio:

$$I(B)_{I,Sept-Jun}=(222+316) / 2 = 269 \text{ veh/día}$$

$$I(B)_I=(10 \cdot 269 + 2 \cdot 557) / 12 = 317 \text{ veh/ día}$$

Para calcular la intensidad en un día laboral en el punto de medición A:

$$I(A)_{I,Sept-Jun} \rightarrow I(A)_I$$

$$I(B)_{I,Sept-Jun} \rightarrow I(B)_I$$

Con estos datos, la intensidad en el punto A un día laborable resulta de 923.89 veh/día.

Aplicando el Factor Festivos, $S = IMD(B) / I(B)_I = 331 / 317 = 1.04$, la IMD en el punto A para el año 2.015 resulta:

$$IMD(A) = S \cdot I(A)_I = 1.04 \cdot 923.89 = 960.84 \text{ veh/día}$$

Con estos datos, es necesario calcular:

- IMD para el año de puesta en servicio: 2.018. A partir de este dato se ha calculado el firme.
- IMD para el año horizonte: 2.038. Este dato se utilizaría para el cálculo del nivel de servicio y capacidad.

Para estos cálculos debemos tener en cuenta los valores de los incrementos anuales acumulativos, representados en la tabla 1.



Incremento anual acumulativo	
2.010 - 2.012	1,08%
2.013 - 2.016	1,12%
2.017 en adelante	1,44%

Tabla 1. Incremento anual acumulativo

$$\text{IMD}_{2016} = \text{IMD}_{2015} (1 + \%P / 100) = 960.84 (1 + 0.0112) = 972.37 \text{ veh/día}$$

$$\text{IMD}_{2017} = \text{IMD}_{2016} (1 + 1.44 / 100) = 960.84 \cdot 1.0112 \cdot 1.0144 = 985.59 \text{ veh/día}$$

$$\text{IMD}_{2018} = \text{IMD}_{2015} \cdot 1.0112 \cdot 1.0144^2 = 999.78 \text{ veh/día}$$

$$\text{IMD}_{2038} = \text{IMD}_{2015} \cdot 1.0112 \cdot 1.0144^{22} = 1330.735 \text{ veh/día}$$