



## Anejo 2.10-Firmes y Pavimentos



urbanismo, medio ambiente  
y movilidad

MADRID



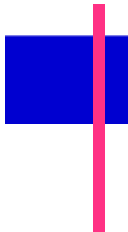
Control de documentación

Hoja de control

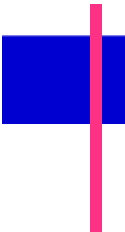
Realizado	Revisado	Aprobado
AMV	BON	VMLS

Control de modificaciones

Versión	Fecha	Control de Modificaciones	Autor
1.0	27/10/2023	Primera entrega completa para Supervisión del Ayuntamiento	BON
2.0	12/04/2024	Entrega 1ª Revisión	BON



## Anejo 2.10. Firmes y Pavimentos



1.	Introducción.....	1
2.	Factores de dimensionamiento .....	1
2.1.	Tráfico pesado .....	1
3.	Explanada .....	2
3.1.	Características del cimiento .....	2
3.2.	Materiales de la explanada .....	2
3.3.	Composición y definición de la explanada.....	2
4.	Estudio general de las secciones tipo más adecuadas .....	3
5.	Secciones tipo de firme .....	3
5.1.	Viales con categoría de tráfico T00 .....	3
5.2.	Viales con categoría de tráfico T0 .....	4
5.3.	Viales con categoría de tráfico T1 .....	4
5.4.	Viales con categoría de tráfico T2 .....	5

Índice de Tablas

Tabla 1. Categoría del tráfico en función de IMDp .....	1
Tabla 2. Categoría del tráfico obtenida en el estudio de tráfico y adoptada para el dimensionamiento de firmes .....	1
Tabla 3. Configuraciones de explanada .....	2
Tabla 4. Secciones tipo analizadas en esta fase de Anteproyecto .....	3

Apéndices

Apéndice I. Plano Categorías Tráfico

## [1] Introducción

El presente anejo tiene por objeto estudiar, analizar, y comparar desde un punto de vista técnico, constructivo y económico las distintas alternativas de firme para las calzadas definidas en el anteproyecto, seleccionando las secciones estructurales tipo más idóneas en cada caso. Se diferencian, además, las secciones que se dispondrán sobre rellenos y sobre viaductos y estructuras.

Las bases normativas que se emplean para cumplir el objeto del presente anejo son las que se citan a continuación:

- Para el dimensionamiento y definición de las secciones tipo de firmes se siguen las prescripciones y metodologías contenidas en la Norma 6.1.-IC "Secciones de Firme".
- Para la definición de las características de las distintas capas de los firmes se siguen las indicaciones del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

## [2] Factores de dimensionamiento

En aplicación de lo dispuesto en la Norma 6.1.-IC, se estudian a continuación los factores de dimensionamiento de las secciones estructurales de firme.

### [2.1] Tráfico pesado

La estructura del firme será función de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) que se prevea para el carril de proyecto en el año de la puesta en servicio, fijado en esta fase como el 2026. En función de dicha intensidad se establecen las siguientes categorías de tráfico.

Categoría	IMDp
T00	$\geq 4.000$
T0	$2.000 \leq \text{IMDp} < 4.000$
T1	$800 \leq \text{IMDp} < 2.000$
T2	$200 \leq \text{IMDp} < 800$
T31	$100 \leq \text{IMDp} < 200$
T32	$50 \leq \text{IMDp} < 100$
T41	$25 \leq \text{IMDp} < 50$
T42	$< 25$

Tabla 1. Categoría del tráfico en función de IMDp

En el anejo relativo a Estudio de Tráfico, se obtienen las previsiones de tráfico para el año de puesta en servicio del Nudo de Fuencarral (para esta fase se ha considerado 2026), y del mismo se extraerán los datos necesarios para el establecimiento de la categoría de tráfico pesado a considerar en el dimensionamiento de las distintas calzadas a proyectar.

En dicho anejo se ha realizado un estudio específico del tráfico de vehículos totales y del tráfico de vehículos pesados.

Para ello se ha procedido a recopilar los datos disponibles de las estaciones de aforo de la zona, efectuando así una caracterización del ámbito de estudio y análisis de la situación actual. A

continuación, se diseña un modelo de crecimiento por el cual se transforman las variables explicativas actuales en valores del tráfico en el año de puesta en servicio.

Finalmente, se elabora un modelo que permite calcular la demanda de tráfico de las principales carreteras del ámbito de estudio a partir de un modelo de red, que permitirá estimar el tráfico del tramo de estudio en las situaciones futuras.

Finalmente, de la prognosis de tráfico se pueden extraer los siguientes resultados de categorización de tráfico para el año de puesta en servicio, considerado para esta fase en 2026, para las vías y enlaces proyectados en la remodelación.

ID	Tramo	IMD	IMDp	Categoría Tráfico	Categoría Tráfico adoptada
3317	M-607 - Cont M607 o (Hosp Psiquiátrico/Universidad Autónoma de Madrid)	68.699	6.897	T00	T00
6294	De M-603 a M-607	9.963	1.000	T1	T1
65184	Carretera Colmenar Viejo	11.907	1.195	T1	T1
85822	De M-607 a Montecarmelo y c/Monasterio de Arlanza Este	9.291	933	T1	T1
85823	De M-607 a Montecarmelo	829	83	T32	T1
173072	De MNN/ M-607 a M-40	29.978	3.010	T0	T0
173083	De MNN/ M-607 a M-40 Este	23.443	2.354	T0	T0
173097	De Colmenar Viejo a Madrid M-607	36.760	3.691	T0	T0
183720	De Colmenar Viejo a Madrid M-607 (Antes de M40)	74.915	7.521	T00	T00
417681	De MNN/ M-607 a M-40 Oeste	6.535	656	T2	T2
434385	Ramal de salida M-40 Oeste	8.594	863	T1	T1
434387	De M-40 Oeste a Madrid M-607	5.277	530	T2	T2
434388	De M-40 a M-607	6.662	669	T2	T2
434390	De M-40 Este a MNN	3.536	355	T2	T2
434392	De M-40 Este a Madrid M-607	1.385	139	T31	T1
434393	De M-40 Este a Madrid M-607	1.385	139	T31	T1
434394	Bifurcación de M-40 Oeste a MNN	3.318	333	T2	T1
434397	Acceso MNN	15.152	1.521	T1	T1
434401	De M-607 Sur a M-603	7.423	745	T2	T2
434403	De M-607 Norte a M-603	6.168	619	T2	T2
434404	De M-603 a M-607 Norte	143	14	T42	T2
434405	De M-603 a M-40	4.286	430	T2	T2
434411	De MNN a M-607	9.978	1.002	T1	T1
434413	De MNN a M-40	14.734	1.479	T1	T1
434414	M-603	13.591	1.365	T1	T1
434417	C/ Monasterio de Arlanza	16.156	1.622	T1	T1
434444	De MNN a M-603	4.528	455	T2	T2
434445	De M-603 a MNN	4.279	430	T2	T2
434449	Desde MNN a bifurcación norte	24.712	2.481	T0	T0
434454	Glorieta C/ Monasterio de Arlanza	17.163	1.723	T1	T1

Tabla 2. Categoría del tráfico obtenida en el estudio de tráfico y adoptada para el dimensionamiento de firmes

En este sentido se han agrupado ramales con similares categorías de tráfico que permitan el diseño de una misma tipología de firme, optimizando secciones dentro de un enlace sin incurrir en un sobredimensionamiento excesivo del mismo.

Por otro lado, se ha considerado también el factor de la economía de escala en la construcción, así como la relativa incertidumbre que origina la utilización de datos de encuesta y aforos puntuales en la evolución futura del tráfico, para aquellos casos en los que existe un número reducido de



ramales que dispongan de categorías de tráfico inferiores a la del resto de los ramales que conforman el enlace, adoptándose por ello una única solución estructural de firme para todo el enlace.

### [3] Explanada

La Norma 6.1.-IC considera tres categorías de explanada, que quedan determinadas por su módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (Ev2), obtenido según la Norma NLT-357 "Ensayo de carga con placa".

Asimismo, la formación de la explanada depende del tipo de suelo de la explanación o de la obra de tierra subyacente, así como de las características y espesores de los materiales disponibles.

En la citada Norma se ofrece una gama de configuraciones de explanada que, por las características de los materiales requeridos, suponen la disposición de capas de aportación de material sin tratamiento adicional o de material estabilizado con conglomerante hidráulico, procedentes tanto de la traza como de préstamos. Por ello la elección de una u otra de estas configuraciones deberá basarse en criterios técnicos y económicos, tales como existencia de materiales adecuados, distancia razonable a la traza, calidad del sustrato y mínimo coste del conjunto firme - explanada.

#### [3.1] Características del cimiento

El primer dato que es necesario conocer para caracterizar la explanada es la definición de las características de los materiales en los que asienta en las dos situaciones posibles, desmonte y terraplén.

En esta fase de redacción del Anteproyecto Remodelación del Nudo de Fuencarral se dispone de datos geotécnicos para categorizar el sustrato subyacente, de modo que se pueden obtener conclusiones sobre las características del cimiento.

El trazado discurrirá bien afectando a los niveles de relleno, dada la fuerte antropización de la zona, o bien directamente sobre el sustrato típico de esta zona de Madrid. De este modo, si el fondo de excavación se realiza sobre rellenos antrópicos se encontrará la presencia de suelos inadecuados, mientras que, si la excavación se realiza sobre el sustrato, se localizan suelos tolerables. El espesor medio de relleno es de 0.2-8 m, a excepción de donde se ubiquen instalaciones o infraestructuras.

#### [3.2] Materiales de la explanada

Los posibles materiales de aportación y las estabilizaciones necesarias para obtener las distintas categorías de explanadas quedan recogidos en la Tabla 4 de la Norma 6.1.-IC, identificando el articulado del PG-3/75 que regula su definición y las prescripciones complementarias que les impone la propia Norma.

Con las características prescritas para dichos materiales, se pueden extraer las siguientes conclusiones acerca de los materiales constitutivos de la explanada:

- La peculiar geomorfología de la zona, caracterizada por el predominio de los terrenos llanos condicionan el trazado de la actuación, prevaleciendo a lo largo de la misma las secciones en

terrapién y desmontes en las proximidades de las secciones en túnel. En este sentido, se hace preciso recurrir a materiales procedentes de préstamos si el material resultante de la excavación no fuera aprovechable.

- El sustrato presente en la traza se clasifica como suelo tolerable. Se considera que, de resultar la traza sobre rellenos antrópicos de poca entidad, se procedería a la excavación de estos, resultando así el cimiento de categoría tolerable.
- Para las secciones con categoría de tráfico pesado T0, se exige una tipología de explanada E3, según el Catálogo de Secciones de Firme de la Norma 6.1.-IC.
- Igualmente, a efectos de la definición de las secciones de firme se unificarán las explanadas por su categoría, de tal manera que no haya tramos diferenciados en el proyecto de menos de 500. Por esta razón, se proyecta para los ramales de enlace una explanada tipo E3.

#### [3.3] Composición y definición de la explanada

Atendiendo a las conclusiones de los dos apartados anteriores, para la clase de cimiento y de material utilizado, pueden definirse para cada categoría de explanada las composiciones que figuran en el cuadro siguiente.

Explanada	Tipo de cimiento	Materiales de la explanada						
		0	1	2	3	S-EST1	S-EST2	S-EST3
E3	0			30				30
E3	0		50					30

Tabla 3. Configuraciones de explanada

De acuerdo con lo descrito anteriormente y atendiendo a las prescripciones de la Norma 6.1-IC y del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3), se ha considerado para todas las calzadas contenidas en el Anteproyecto la construcción de una explanada de categoría E3, con módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (EV2)  $\geq 300$  MPa.

La citada Norma, en lo relativo a las explanadas, pretende revisar las soluciones que aparecían en la Instrucción 6.1. y 2-IC para poder tener las mayores garantías en cuanto a uniformidad estructural, durabilidad e insensibilidad al agua. Por ello considera prioritaria para las explanadas de mayor capacidad de soporte, las soluciones basadas en la técnica de la estabilización de suelos con conglomerantes hidráulicos.

En este sentido, el epígrafe 5 de la ya referida Norma 6.1.-IC, establece la utilización preferente para la capa superior de las explanadas, por razones de durabilidad y uniformidad de la capacidad estructural, de suelos estabilizados in situ frente a una eventual aportación de suelos sin tratar de mejores características. Así se adopta de forma general una configuración formada por 30 cm de suelo estabilizado in situ S-EST3 sobre otros 50 cm de Suelo Adecuado. Sobre la capa estabilizada deberá ejecutarse el correspondiente riego de curado.

Dicha configuración servirá tanto para los terraplenes como desmontes, puesto que en ambos casos se tiene Suelo Tolerable como cimiento de la explanada (los terraplenes estarán formados, si existe la posibilidad, con material procedente de las propias excavaciones).

Así pues, la sección genérica de explanada proyectada está formada por **50 cm de Suelo Adecuado y 30 cm de Suelo Estabilizado S-EST3**. De esta forma, la solución final permitirá homogeneizar la explanada a lo largo de todo el tramo objeto del anteproyecto para simplificar los procesos de producción durante la obra. Se conseguirá, así, un ahorro en cuanto a la economía de escala en los medios y materiales, y simplificará la programación-ejecución-control de la obra posteriormente.

#### [4] Estudio general de las secciones tipo más adecuadas

Una vez determinados los factores básicos del dimensionamiento del firme a proyectar en el tronco principal, se procede a continuación a realizar el estudio de la sección tipo de firme más adecuada de entre las definidas en el catálogo de secciones de firme de la Norma 6.1-IC.

Se debe señalar que, por criterios económicos y de homogeneidad con el resto de los tramos de la autovía ya ejecutados, las secciones que incluyen firmes rígidos no se tendrán en cuenta en el siguiente análisis.

La selección de las soluciones de dicho catálogo para efectuar la comparación se ha realizado atendiendo a los siguientes criterios:

- De acuerdo con la tabla 6 de la Norma 6.1. IC solo se admiten mezclas drenantes y discontinuas en la capa de rodadura para categorías de tráfico pesado T00 a T1.
- Por otro lado, atendiendo a lo establecido en el apartado 6.2.1.2. de la mencionada Norma, se prohíbe el empleo de mezclas drenantes en zonas pluviométricas catalogadas como poco lluviosas, por lo que la única solución disponible en capas de rodadura de los tramos con tráfico pesado T00 a T1, son las mezclas discontinuas de tipo BBTM.
- Cuando las mezclas bituminosas sean discontinuas en caliente, las capas de rodadura se formarán con mezclas tipo BBTM11B, en razón a los espesores prescritos y siguiendo lo dispuesto en el artículo 543 "Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas" (Orden FOM/2523/2014)
- De entre las posibles soluciones que ofrece la Norma no se han considerado las soluciones que incluyen grava-cemento, al tratarse de una sección similar a la del suelocemento y disponer de más unidades de obra distintas, dado la economía que ello supone para la obra, no solo por la sección de firme en sí, sino por la necesidad de elevar la rasante, al disponer de un espesor total mayor al de otras soluciones, con una incidencia especial en el trazado de la actuación objeto del presente Anteproyecto.
- Ante dos soluciones similares, sólo se considera aquella que tiene un menor nº de unidades de obra distintas, dado la economía que ello supone para la obra, además de la mejora que tendrá el comportamiento global de la sección cuanto más uniformes sean sus componentes.

Tras todo lo anterior, las secciones en la figura 2.1 de la citada Norma a analizar serán las siguientes:

Categoría	Secciones tipo
T00	0031
	0032
T0	031
	032
T1	131
	132
T2	231
	232

Tabla 4. Secciones tipo analizadas en esta fase de Anteproyecto

La principal diferencia entre estas secciones se encuentra en el material de la subbase, además de los espesores de los paquetes de firme. Se analiza a continuación las características técnicas de los materiales de las subbases.

Entre las características principales del suelocemento cabe destacar su elevada capacidad de soporte, que proporciona estabilidad a la explanada y al cimiento del firme. A su vez, presenta una gran resistencia a flexión y fatiga, así como rigidez de apoyo a las capas bituminosas superiores, lo que se traduce en una mayor durabilidad ante las acciones del tráfico pesado y cambios climáticos.

Por su parte, el dotar al firme de una base de zahorra garantiza un mejor drenaje de las calzadas, optimizando la evacuación de las aguas hacia el drenaje longitudinal de la vía. Adicionalmente, un mayor espesor de material granular flexible posibilita una mejor adaptación a los asientos del terreno, con lo cual el asiento remanente será mejor absorbido. Por último, la zahorra es un material dócil y fácilmente trabajable ya que no necesita de maquinaria especial ni está sujeto a tiempos de trabajabilidad como los materiales tratados con cemento.

Finalmente, dado que el empleo de suelocemento en la base del firme constituye una mayor afinidad con el material de la capa superior de la explanada, formada por el suelo estabilizado in situ con cemento, con rigideces similares y debido a la elevada categoría de tráfico pesado, así como las características climáticas de la zona y la propia morfología llana de la zona de actuación, se justifica la elección del suelocemento en la capa de subbase.

#### [5] Secciones tipo de firme

Siguiendo el procedimiento descrito en la Norma 6.1-IC, se realiza a continuación el dimensionamiento de los firmes correspondientes a las distintas vías proyectadas según la categoría de tráfico pesada expuesta anteriormente.

##### [5.1] Viales con categoría de tráfico T00

Se ha elegido la sección estructural tipo 0032 del catálogo contenido en el apartado 6.1, compuesta por 25 cm de mezclas bituminosas y 30 cm de suelo-cemento (capa tratada con cemento que deberá prefisurarse con espaciadores de 3 a 4 m, de acuerdo con el artículo 513 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales, PG-3).

El espesor total de mezcla bituminosa se subdivide a su vez en las siguientes capas:

- 3.0 cm de mezcla bituminosa discontinua en caliente tipo BBTM11B, constituyendo la capa de rodadura.
- 7.0 cm de mezcla bituminosa semidensa tipo AC 22 bin S, en la capa intermedia.
- 15.0 cm de mezcla bituminosa gruesa tipo AC 32 base G, como base bituminosa.

3 cm	BBTM11B
7 cm	AC 22 bin S
15 cm	AC 32 base G
30 cm	sc

[5.2] Viales con categoría de tráfico T0

Se ha elegido la sección estructural tipo 032 del catálogo contenido en el apartado 6.1, compuesta por 20 cm de mezclas bituminosas y 25 cm de suelo-cemento.

El espesor total de mezcla bituminosa se subdivide a su vez en las siguientes capas:

- 3.0 cm de mezcla bituminosa discontinua en caliente tipo BBTM11B, constituyendo la capa de rodadura.
- 7.0 cm de mezcla bituminosa semidensa tipo AC 22 bin S, en la capa intermedia.
- 10.0 cm de mezcla bituminosa gruesa tipo AC 32 base G, como base bituminosa.

3 cm	BBTM11B
7 cm	AC 22 bin S
10 cm	AC 32 base G
25 cm	sc

[5.3] Viales con categoría de tráfico T1

Se ha elegido la sección estructural tipo 132 del catálogo contenido en el apartado 6.1, compuesta por 20 cm de mezclas bituminosas y 20 cm de suelo-cemento.

El espesor total de mezcla bituminosa se subdivide a su vez en las siguientes capas:

- 3.0 cm de mezcla bituminosa discontinua en caliente tipo BBTM11B, constituyendo la capa de rodadura.
- 7.0 cm de mezcla bituminosa semidensa tipo AC 22 bin S, en la capa intermedia.
- 10.0 cm de mezcla bituminosa gruesa tipo AC 32 base G, como base bituminosa.

3 cm	BBTM11B
7 cm	AC 22 bin S
10 cm	AC 32 base G
20 cm	sc



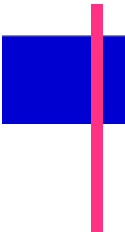
**[5.4] Viales con categoría de tráfico T2**

Se ha elegido la sección estructural tipo 232 del catálogo contenido en el apartado 6.1, compuesta por 15 cm de mezclas bituminosas y 20 cm de suelo-cemento.

El espesor total de mezcla bituminosa se subdivide a su vez en las siguientes capas:

- 5.0 cm de mezcla bituminosa semidensa AC 16 surf S, constituyendo la capa de rodadura.
- 10.0 cm de mezcla bituminosa semidensa tipo AC 22 bin S, como base bituminosa.

5 cm	AC 16 surf S
10 cm	AC 22 bin S
20 cm	sc



# Apéndice I. Plano Categorías Tráfico



