

3

Dimensionamiento de firmas

Los materiales y espesores de las capas del firme de una carretera o de una calle deben fijarse en función del tráfico que ha de soportar y de las características del terreno que constituye el cimiento del mismo. Pero, además, se deben tener en cuenta las condiciones climatológicas de la zona y las características de los materiales que vayan a emplearse en su construcción. Las variables de proyecto a considerar serán por tanto:

- **Tráfico:** Variable de proyecto que debe tener en cuenta la intensidad de la circulación, la composición del tráfico, su crecimiento y el periodo de proyecto.
- **Explanada:** Capacidad soporte del cimiento sobre el que se apoya el firme. Depende de la naturaleza y propiedades de los suelos empleados en la construcción de la explanada y de las condiciones de drenaje.
- **Materiales:** Existe una gran variedad de materiales y sistemas constructivos que podemos emplear en la construcción del firme.
- **Climatología:** Las condiciones ambientales a las que está sometido el firme (precipitaciones y temperatura de la zona) tienen una gran influencia en su comportamiento.

Los métodos de dimensionamiento nos permiten fijar los materiales y espesores de las capas del firme teniendo más o menos en cuenta todas estas variables de proyecto. Los métodos de dimensionamiento se agrupan en dos familias de acuerdo con su procedencia y desarrollo. Por una parte, están los métodos experimentales, basados en la observación del comportamiento de tramos experimentales o de firmes en servicio, y por otra parte, los analíticos, que modelizan el comportamiento del firme y determinan y analizan el estado de tensiones a que está sometido.

A partir de estos métodos, algunas Administraciones de carretera, entre ellas la española, han desarrollado unos procedimientos de diseño más simplificados, basado en el empleo de un catálogo de secciones de firmes, en el que han incorporado a esos métodos su propia experiencia. Estos procedimientos de diseño parece que en principio puedan limitar la libertad del proyectista o constructor, pero tienen la enorme ventaja de estar basados en la experiencia del propio país y tener en cuenta los sistemas constructivos y materiales realmente aplicados. Estos procedimientos son revisados periódicamente con objeto de incluir las nuevas experiencias e innovaciones.

3.1. INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS. NORMA 6.1 IC

La primera instrucción de carreteras en la que se introducen los catálogos de secciones estructurales para el dimensionamiento de firmes en España es del año 1975. Con posterioridad ha habido dos nuevas versiones, una en el año 1990 y la actual, recogida en este vademécum, del año 2003.

3.1.1. Tráfico.

En el dimensionamiento de un firme de carreteras sólo se tiene en cuenta el tráfico pesado, que es el que da lugar a la rotura y deformación de las capas del firme. Dependiendo el daño producido por cada vehículo pesado de la carga y configuración de sus ejes.

La Instrucción simplifica el análisis del tráfico, considerando que el espectro de carga de los vehículos pesados es similar en toda la red, y sólo tiene en cuenta la IMD de la vía y el porcentaje de vehículos pesados. Se definen seis categorías de tráfico, en función de la IMD de vehículos pesados en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio.

Categorías de tráfico. Norma 6.1 IC.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	TOO	TO	T1	T2
IMD _p (vehículos pesados/día)	≥ 4000	< 4000 ≥ 2000	< 2000 ≥ 800	< 800 ≥ 200

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

Para la determinación del tráfico pesado por carriles, la instrucción admite, en el caso de no disponer de datos concretos, el siguiente procedimiento:

- En calzadas de dos carriles y doble sentido de circulación, coincide sobre cada carril la mitad de los vehículos pesados que circulan por la calzada.
- En calzadas de dos carriles por sentido de circulación, en el carril exterior se considera la categoría de tráfico pesado correspondiente a todos los vehículos pesados que circulan en ese sentido.
- En calzadas de tres o más carriles por sentido de circulación,

se considera que actúan sobre el exterior el 85% de los vehículos pesados que circulan en ese sentido.

La instrucción considera vehículos pesados:

- Los camiones de carga útil superior a 30 t, de más de 4 ruedas y sin remolque.
- Los camiones con uno o varios remolques.
- Los vehículos articulados y los vehículos especiales.
- Los vehículos dedicados al transporte de personas con más de 9 plazas.

La Instrucción no considera de forma explícita el período de proyecto ni la tasa de crecimiento del tráfico. Las secciones han sido proyectadas para soportar durante más de 20-30 años las solicitaciones del tráfico sin que se produzca un fallo estructural. El número de años de proyecto de cada sección puede ser estimado de acuerdo con los parámetros constitutivos y leyes de fatiga previstos para cada material (Ver materiales, apartado 3.1.4).

3.1.2. Explanadas. Categorías de explanadas.

La instrucción considera tres categorías de explanada de acuerdo con su capacidad soporte, asociada a un mínimo módulo de deformación y a una máxima deflexión bajo carga.

Módulo de deformación. Norma 6.1 IC

CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
Módulo E_{v2} (MPa) NLT-357	≥ 60	≥ 120	≥ 300

Deflexión patrón (). Norma 6.1 IC*

CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
Deflexión patrón (10^{-2} mm) - NLT-356	≤ 250	≤ 200	≤ 125

(*). Valor probable de la capacidad de soporte de la explanada, dentro del campo de variación debido a los cambios de humedad.

La Instrucción y el PG-3 establecen también unos espesores y unas calidades mínimas sobre los suelos y materiales a emplear en la construcción de las explanadas para que estas puedan ser incluidas en cada una de estas categorías.

Explanadas. Formación de las distintas categorías (espesores y materiales).
Norma 6.1 IC.

TIPOS DE SUELOS DE LA EXPLANACIÓN (DESMONTES) O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (TERRAPLENES, PEDRAPLENES O RELLENOS TODO-JUNO)					
	SUELOS INADECUADOS Y MARGINALES (IN)	SUELOS TOLERABLES (0)	SUELOS ADECUADOS (1)	SUELOS SELECCIONADOS (2) Y (3)	ROCA (R)
CATEGORÍA DE EXPLANADA	<p>E1 $F_{v2} \approx 60\text{MPa}$</p>		<p>min 1 100</p>	<p>SUELOS SELECCIONADOS (2) Y (3)</p>	ROCA (R)
	<p>E2 $F_{v2} \approx 120\text{MPa}$</p>		<p>2 55 1 min 100</p> <p>2 25 1 min 100</p> <p>3 35 1</p>	<p>SUELOS SELECCIONADOS (2) Y (3)</p>	ROCA (R)
	<p>E3 $F_{v2} \approx 300\text{MPa}$</p>		<p>SUELOS SELECCIONADOS (2) Y (3)</p>	<p>SUELOS SELECCIONADOS (2) Y (3)</p>	<p>HM-20 R</p>



Materiales para la formación de explanada. Norma 6.1 IC.

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 ≥ 3 (**). - Contenido en materia orgánica $< 1\%$. - Contenido en sulfatos solubles (SO_3) $< 1\%$. - Hinchamiento libre $< 1\%$.
1	Suelo adecuado	330	- CBR ≥ 5 (*) (**).
2	Suelo seleccionado	330	- CBR ≥ 10 (*) (**).
3	Suelo seleccionado	330	- CBR ≥ 20 (*) (**).
S-EST1 S-EST2 S-EST3	Suelo estabilizado <i>in situ</i> con elemento o con cal	512	- Espesor mínimo: 25 cm. - Espesor máximo: 30 cm.

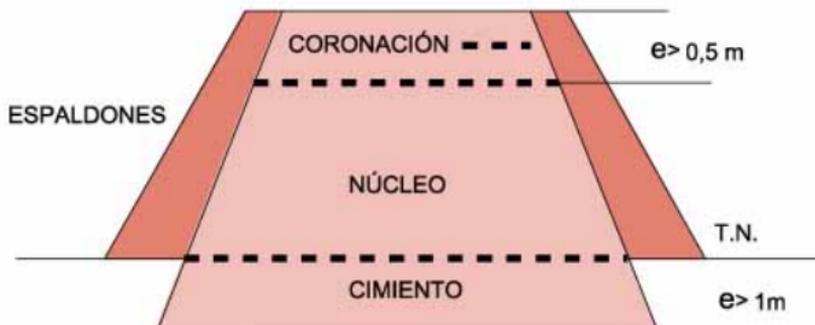
(*) El CBR se determinará de acuerdo con las condiciones especificadas de puesta en obra, y su valor se empleará exclusivamente para la aceptación o rechazo de los materiales utilizables en las diferentes capas.

(**) En la capa superior de las empleadas para la formación de la explanada, el suelo adecuado definido como tipo 1 deberá tener, en las condiciones de puesta en obra, un CBR ≥ 6 y el suelo seleccionado definido como tipo 2 un CBR ≥ 12 . Asimismo, se exigirán esos valores mínimos de CBR cuando, respectivamente, se forme una explanada de categoría E1 sobre suelos tipo 1, o una explanada de categoría E2 sobre suelos tipo 2.

3.1.2.1. Materiales para explanadas. Prescripciones

Las prescripciones y tipos de materiales que se pueden utilizar en la construcción de explanadas pueden variar conforme a su ubicación en la misma, en especial en el caso de terraplenes.

Los suelos, de acuerdo con su calidad, pueden ser empleados en la construcción de las capas de coronación de desmonte y del terraplén y en la construcción del núcleo, cimiento y espaldones del terraplén.



Zonas y espesores de capa de un terraplén. Art. 330, PG-3.

En la construcción del núcleo de terraplén puede usarse también material pétreo de mayor tamaño sin finos (pedraplén) o materiales pétreos con finos (todo-uno).

Suelos (Art. 330, PG-3).

El artículo 330 del PG-3 define como suelo los materiales provenientes de las excavaciones realizadas en obra, cuyo cernido o material que pasa por el tamiz 20 UNE sea mayor del 70% o, el cernido por el tamiz 0,080 UNE sea igual o mayor del 35%. Este artículo clasifica los suelos en seleccionados, adecuados, tolerables y marginales de acuerdo con su granulometría y contenido y naturaleza de los finos; cuanto más continua y cerrada sea su granulometría y menos plásticos sean sus finos, mejor será la calidad del suelo.

Clasificación de suelos para terraplén (Art. 330, PG-3).

TERRAPLENES					
	NLT/UNE	Seleccionados	Adecuados	Tolerables	Marginales
MATERIA ORGÁNICA (%)	103204	MO < 0,2	MO < 1	MO < 2	MO < 5
SALES SOLUBLES (%)	114	SS < 0,2	SS < 0,2	Y < 5 SS < 1	
TAMAÑO MÁXIMO (mm)	150	Dmax ≤ 100	Dmax ≤ 100		
		(a)	(b)		
PASA 2 UNE (%)	150		# 2 < 80	# 2 < 80	
PASA 0,40 UNE (%)	150	# 0,40 ≤ 15	# 0,40 < 75		
PASA 0,80 UNE (%)	150		# 0,080 < 25	# 0,080 < 35	
LÍMITE LÍQUIDO	103103		LL < 30	LL < 40	LL < 65
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	103103 103104		IP < 10	si LL > 30: IP > 4	si LL > 40: IP > 0,73 (LL-20) si LL > 90: IP < 0,73 (LL-20)
ASIEN TO POR COLAPSO (%)	254			Asiento < 1	
HINCH. POR EXPANSIÓN (%)	103601 103500			Hinch < 3	Hinch < 5

Los suelos seleccionados deben cumplir los requisitos de la columna (a) o de la (b)
#: Tamiz UNE, cuya apertura en mm se indica a continuación, junto con el contenido máximo de material que pasa.

MO: materia orgánica

SS: sales solubles

Y: yeso

LL: límite líquido

IP: Índice de plasticidad

Su empleo en las diferentes zonas del terraplén depende de su clasificación y de su CBR.

Tipo de suelo y empleo en terraplenes (Art. 330, PG-3).

Tipo de Suelo		Seleccionado	Adecuado	Tolerable	Marginal
Empleo	Coronación*	CBR \geq 5		No	No
	Núcleo y cimienta*	CBR \geq 3			Estudio Especial

(*) La densidad a exigir será como mínimo del 100% con respecto al Proctor Modificado en coronación y del 95% en el resto.

Pedraplenes (Art. 331, PG-3).

Se trata de una unidad de obra formada por materiales pétreos de calidad (rocas sanas) con tamaños de partículas sensiblemente mayores que los de los suelos empleados para ejecutar un terraplén. En el pedraplén es importante controlar la forma de las partículas para garantizar su estabilidad granulométrica.

Materiales para pedraplenes (Art. 331, PG-3).

PEDRAPLENES					
MATERIALES	NLT/UNE				
CALIDAD	255	pérdida peso (24 h en agua) \leq 2%			
TAMAÑO MÁXIMO	150	100 mm \leq Dmax \leq 900 mm			
PASA TAMIZ UNE 20 Y 0,080		# 20 < 30%, # 0,080 < 10%			
HUSO RECOMENDADO		Tamiz (mm):	220	55	14
		Pasa (%):	50-100	25-50	12,5-25
FORMA DE LAS PARTÍCULAS		Partículas con forma inadecuada ((L+G)/2 \geq 3 E) < 30%			

El control de ejecución se basa en la medida de las deformaciones superficiales del pedraplén y la porosidad del material compactado. Se exige una porosidad máxima del 30%. Además, se debe verificar que el asiento producido con la última pasada del rodillo sea inferior al 1 % del espesor de la capa a compactar medido después de la primera pasada.

Alternativamente se admite el empleo de otros procedimientos para controlar la compactación, como el ensayo de carga con placa – NLT-357 –, el ensayo de huella – NLT-256 – o técnicas geofísicas. Para el ensayo de huella, se exige que los valores medidos no superen 3 mm para la zona de transición y 5 mm para el resto del pedraplén.

Rellenos Todo-uno (Art. 333, PG-3).

Los rellenos "todo-uno" se caracterizan por tener condiciones granulométricas intermedias entre las del terraplén y las del pedraplén. Del mismo modo que en el caso anterior, es necesario evaluar la calidad de la roca y para ello se realizan ensayos de inmersión en agua, determinación de presencia y contenido de sales solubles y materia orgánica.

Materiales para rellenos todo-uno (Art. 333, PG-3).

RELLENOS TODO-UNO			
	MATERIALES	NLT/UNE	
GRANULOMETRÍA (*)		103101	# 0,080 < 35%, 30% < # 20 < 70%
			# 20 < 30%, # 0,080 > 10%
			Material para pedraplén pero con Dmax < 100 mm
CALIDAD	Rocas estables:	255	pérdida peso (24 h en agua) < 2 %
	Rocas evolutivas: (estudio especial)	255	pérdida peso (24 h en agua) > 2 %
	Rocas con minerales solubles (yeso y otras sales: cloruro sódico, sulfato magnésico, etc.):	1744-1	rocas con sulfuros oxidables, se considerarán marginales
		115	si Y < 5%, uso en cualquier zona
		114	si Y > 20%, se considerarán rocas marginales
	Rocas con minerales combustibles:	103204	si SS > 1%, se considerarán rocas marginales
		MO > 2%, se considerarán rocas marginales	

(*) Cualquiera de las tres alternativas permiten definir la granulometría del todo-uno.
#: Tamiz UNE, cuya apertura en mm se indica a continuación, junto con el contenido máximo de material que pasa.

Y: yeso

SS: sales solubles

MO: materia orgánica

La densidad seca del relleno compactado ha de ser como mínimo el 95 % de la densidad seca máxima que se puede conseguir con el material del relleno que pasa por el tamiz 20 UNE, en el ensayo Próctor modificado UNE 103501. El asiento producido con la última pasada del compactador ha de ser inferior al uno por ciento (1 por 100) del espesor de la capa a compactar medido después de la primera pasada.

También se emplea el ensayo de huella – NLT 256 - que debe acusar un asiento medio igual o menor de 3 mm en la zona de transición y 5 mm en el resto del relleno. Al igual que en los pedraplenes, pueden emplearse otras técnicas, como el ensayo de carga con placa – NLT-357 - y técnicas geofísicas de ondas superficiales.

Capas de transición y coronación de pedraplenes y rellenos todo-uno (Art. 331 y 333, PG-3).

Sobre las capas de núcleo del pedraplén y de relleno todo-uno se colocará una capa de transición, de al menos un metro, en dos tongadas como mínimo.

Sobre la capa de transición se colocará la capa de coronación que deberá cumplir con lo indicado en el artículo 330 del PG-3 para capa de coronación de terraplén: tendrá un espesor mínimo de dos tongadas y siempre mayor de 50 cm.

La Norma 6.1 IC asimila los pedraplenes y los rellenos todo-uno a un suelo tipo 3, salvo que se proyecte con materiales marginales. Los suelos de coronación deberán ser seleccionados para que su categoría sea E2 o estabilizado para la categoría E3.

Suelos estabilizados in situ (Art. 512, PG-3).

Los suelos estabilizados in situ se obtienen a partir de una mezcla del suelo con un porcentaje de cal o cemento, con objeto de mejorar sus propiedades y poder contribuir a la ejecución de explanadas con suficiente capacidad portante. Se recurre a la cal para disminuir la plasticidad del suelo y al cemento para aumentar su resistencia a la deformación.

Se distinguen tres tipos de suelos estabilizados in situ, los simbolizados como S-EST1 y S-EST2, que pueden llevar cal o cemento, y los S-EST3, que sólo se obtienen mediante un aporte de cemento.

Suelos estabilizados in situ (Art. 512, PG-3).

SUELOS ESTABILIZADOS IN SITU			
MATERIALES			
TIPOLOGÍA	S-EST1, S-EST2 (con cal ó con cemento), S-EST3 (con cemento)		
GRANULOMETRÍA	con cal:	S-EST1 y S-EST2	# 80 ≤ 100%, # 0,063 ≥ 15%
	con cemento:	S-EST1 y S-EST2	# 80 ≤ 100%, # 2 > 20%, # 0,063 < 50%
		S-EST3	# 80 ≤ 100%, # 2 > 20%, # 0,063 < 35%
COMPOSICIÓN QUÍMICA		S-EST1	MO ≤ 2%, SO ₃ < 1%
		S-EST2 y S-EST3	MO ≤ 1%, SO ₃ < 1%
PLASTICIDAD	con cal:	S-EST1	IP ≥ 12
		S-EST2	12 ≤ IP ≤ 40
	con cemento:	S-EST1	IP ≤ 15
		S-EST2 y S-EST3	LL ≤ 40, IP ≤ 15
TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA		S-EST1	cal ó cem ≥ 2%, CBR _{7d} ≥ 6, γ _d ≥ 95% γ _{dPM} (para coronación, γ _d ≥ 97% γ _{dPM})
		S-EST2	cal ó cem ≥ 3%, CBR _{7d} ≥ 12, γ _d ≥ 97% γ _{dPM}
		S-EST3	cem ≥ 3%, R _{comp7d} ≥ 1,5 MPa, γ _d ≥ 98% γ _{dPM}
	asiento por colapso e hinchamiento por expansión, nulos		
	trabajabilidad: anchura completa, t ≥ 120 min; por franjas, t ≥ 180 min		

#: Tamiz UNE, cuya apertura en mm se indica a continuación junto con el contenido máximo de material que pasa

SO₃: sulfatos solubles

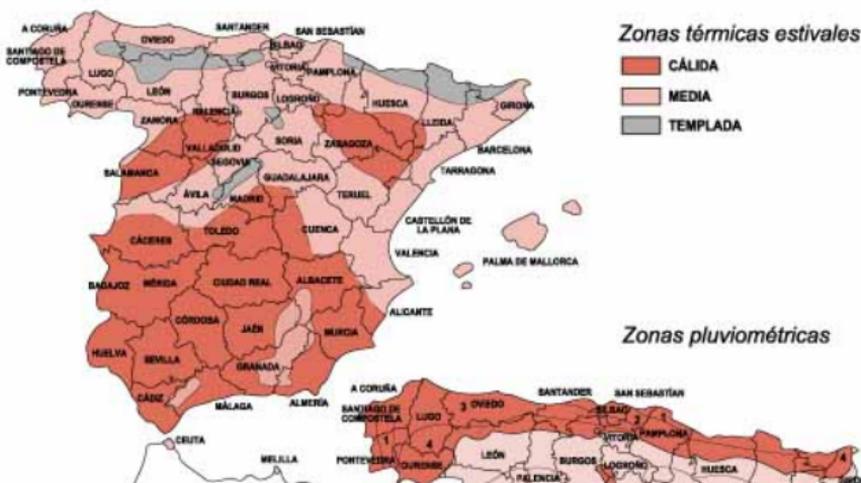
MO: materia orgánica

LL: límite líquido

IP: Índice de plasticidad

3.1.3. Zonas climatológicas.

La Instrucción de Carreteras, Norma 6.1 IC considera tres zonas térmicas estivales y siete pluviométricas en la selección de materiales y procedimientos constructivos.



Zonas pluviométricas



ZONA PLUVIOMÉTRICA		PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)
Lluviosa	Zonas 1 a 4	≥ 600
Poco lluviosa	Zonas 5 a 7	< 600

Los valores de la tabla se han determinado por adaptación de los datos disponibles durante un periodo de 30 años en las estaciones principales del Instituto Nacional de Meteorología.

3.1.4. Catálogo de secciones estructurales (Norma 6.1 IC).

La Instrucción recoge para cada categoría de tráfico tres o cuatro tipos de secciones que corresponden a secciones de firmes con base granular, base bituminosa, base tratada con cemento y pavimento de hormigón.

Para las categorías de tráfico más pesado la instrucción considera adecuada cualquiera de estas tipologías de firme, pero requiere que estén apoyadas sobre explanadas tratadas con cemento, explanada E3.

Para las categorías más bajas de tráfico (T2, T3 y T4, salvo la sección 223, tráfico T2 y explanada E3), la Instrucción no considera adecuadas las secciones con base de grava-cemento.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		T2		
		T0	T1	T2
E1	CATEGORÍA DE EXPLANADA			211 MB 28 ZA 40 212 MB 18 SC 30 ⁽²⁾ HM 15 ZA 20 214 HF 23 HM 15 ZA 20
				221 MB 25 ZA 25 222 MB 18 SC 22 ⁽²⁾ HM 15 223 MB 15 GC 20 ⁽²⁾ SC 20 224 ⁽³⁾ HF 23 HM 15
E2	CATEGORÍA DE EXPLANADA		121 MB 30 ZA 25 122 ⁽³⁾ MB 20 SC 25 ⁽²⁾ HM 15 123 MB 15 GC 22 ⁽²⁾ SC 22 124 ⁽³⁾ HF 25 HM 15	
				131 MB 25 ZA 25 132 MB 20 SC 20 ⁽²⁾ HM 15 134 HF 25 HM 15
E3	CATEGORÍA DE EXPLANADA	0031	0031	0031
		0031 MB 30 ZA 25 0032 MB 25 SC 30 0033 MB 20 GC 22 ⁽²⁾ SC 25 0034 HF 25 ⁽¹⁾ HM 15	0031 MB 30 ZA 25 0032 MB 20 SC 25 ⁽²⁾ HM 15 0033 MB 18 GC 22 ⁽²⁾ SC 20 0034 HF 24 ⁽¹⁾ HM 15	231 MB 20 ZA 25 232 MB 15 SC 20 ⁽²⁾ HM 15 234 HF 23 HM 15

MB Mezclas bituminosas **HF** Hormigón firme **HM** Hormigón magro vibrado **GC** Gravacemento **SC** Suelocemento **ZA** Zahorra artificial **ES** Espesores mínimos en cm.

(1) Para las categorías de tráfico T00 y T0 se emplearán únicamente pavimentos continuos de hormigón con los espesores indicados.

(2) Capas tratadas con cemento que deberán prefabricarse con espaciamientos de 3 a 4 m, de acuerdo con el artículo 513 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3).

(3) Para poder proyectar esta solución será preceptivo que la capa superior de la explanada E2 esté estabilizada con cemento.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		T32			T42		
		T31	T41	T42	T31	T41	T42
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	3111 MB 20 ZA 40 3112 MB 15 SC 30 HF 21 ZA 30 3114 HF 21 ZA 30	3211 MB 18 ZA 40 3212 MB 12 SC 30 HF 21 ZA 20 3214 HF 21 ZA 20	4111 MB 10 ⁽¹⁾ MB 18 ZA 40 4112 SC 30 HF 20 ZA 20 4114 HF 20 ZA 20	4211 MB 5 ⁽¹⁾ ZA 35 4212 MB 5 SC 25 HF 18 ZA 20 4214 HF 18 ZA 20		
	E2	3121 MB 16 ZA 40 3122 MB 12 SC 30 HF 21 ZA 25 3124 HF 21 ZA 25	3221 MB 15 ZA 35 3222 MB 10 SC 30 HF 21 ZA 20 3224 HF 21 ZA 20	4121 MB 10 ⁽¹⁾ MB 18 ZA 30 4122 SC 25 HF 20 ZA 25 4124 HF 20 ZA 25	4221 MB 5 ⁽¹⁾ ZA 25 4222 MB 5 SC 22 HF 18 ZA 22 4224 HF 18 ZA 22		
	E3	3131 MB 16 ZA 25 3132 MB 12 SC 22 HF 21 ZA 20 3134 HF 21 ZA 20	3231 MB 15 ZA 20 3232 MB 10 SC 22 HF 21 ZA 21 3234 HF 21 ZA 21	4131 MB 10 ⁽¹⁾ MB 18 ZA 20 4132 SC 20 HF 20 ZA 20 4134 HF 20 ZA 20	4231 MB 5 ⁽¹⁾ ZA 20 4232 MB 5 SC 20 HF 18 ZA 20 4234 HF 18 ZA 20		

Esposes mínimos en cm.

MB Mezclas bituminosas HF Hormigón firme SC Suelocemento ZA Zahorra artificial

(1) Estas capas bituminosas podrán ser proyectadas con mezclas bituminosas en caliente muy flexibles, gravasulución sellada con un tratamiento superficial o mezcla bituminosa abierta en filo sellada con un tratamiento artificial.

Nota 1: Para las categorías de tráfico pesado T3 (T31 y T32) las capas tratadas con cemento deberán preferirse con espaciamiento de 3 a 4 m. de acuerdo con el artículo 513 del Pliego de prescripciones Técnicas Generales (PG-3).

Nota 2: En la categoría de tráfico pesado T42 con tráfico de intensidad reducida (menor que 100 vehículos/carril/día) podrá disponerse un rego con gravilla bicapa como sustitución de los 5 cm de mezcla bituminosa.

El espesor total de la mezcla bituminosa indicada en el catálogo de secciones estructurales se ha de distribuir en diferentes tipos de capas, mezclas y espesores de acuerdo con la tabla siguiente.

Espesor de capas de mezcla bituminosa en caliente (cm). Norma 6.1 IC.

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
	6.1 IC	PG-3	T00 A T1	T2 Y T31	T32 Y T4
Rodadura	PA		4		
	M	BBTM B	3	2 - 3	
	F	BBTM A			
	D y S	AC D y S		6 - 5	5
Intermedia	D y S	AC D y S	5 - 10 (*)		
Base	S y G	AC S y G	7 - 15		
	MAM	AC S MAM	7 - 13		

(*) Salvo en arcenes.

Arcenes. Norma 6.1 IC.

Cuando éste sea inferior a 1,25 m, se mantendrá el mismo tipo y espesor de firme que el diseñado para la calzada. En caso contrario, el espesor de la capa de mezcla bituminosa varía con la categoría de tráfico y según el tipo de capa en la que se apoya.

Espesor de mezcla bituminosa en arcenes de ancho superior a 1,25 m. Norma 6.1 IC.

Categoría de tráfico		
T00 a T1	T2 y T31	T32, T4 y Vías de servicio
Sobre subbase de zahorra artificial: 15 cm mezcla bituminosa, el resto zahorra artificial drenante.	El mismo espesor que la capa de rodadura, excepto si es drenante o discontinua, el mismo espesor de la capa de rodadura e intermedia.	Zahorra artificial y riego con gravilla
Sobre subbase de capas tratadas con cemento: 10 cm mezcla bituminosa, el resto suelocemento.		Vías de servicio de autopistas y autovías: tratamiento superficial sobre zahorra artificial.

Características y leyes de fatiga.

La Instrucción indica para los materiales del firme las siguientes características y leyes de fatiga. También admite el empleo de otros materiales en capa de base (mezcla bituminosa de alto módulo, grava-emulsión, grava-escoria y macadam), para los que indica el coeficiente de equivalencia.

Características de los materiales del firme. Norma 6.1 IC.

MATERIAL	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA	LEY DE FATIGA	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
Mezclas bituminosas en caliente (D, S y G)	1	$\epsilon_r = 6,925 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$	
Mezclas bituminosas discontinuas en caliente (M y F)	1	-	
Mezclas bituminosas drenantes (PA)	1	-	
Mezclas bituminosas abiertas en frío (AF)	1 (*)	-	- Sólo se podrán emplear para T4 (T41 y T42). En capa de rodadura se recomienda sellar con un tratamiento superficial.
Mezclas bituminosas de alto módulo (MAM)	1,25	$\epsilon_r = 6,917 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$	
Pavimento de hormigón	-	-	
Materiales tratados con cemento	-	Gravacemiento $\frac{\sigma_r}{R_f} = 1 - 0,065 \cdot \log N$	- Espesor mínimo: 20 cm. - Espesor máximo: - 25 cm para gravacemiento. - 30 cm para suelocemento.
		Suelocemento $\frac{\sigma_r}{R_f} = 1 - 0,080 \cdot \log N$	
Gravaemulsión	0,75	Ley específica	- Espesor de capa: - Para T00 a T1: No admisible - Para T2 a T4 : 6 a 12 cm.
Gravaescoria	Material equivalente a la gravacemiento, a la que podrá sustituir en algún tipo de soluciones		- Espesor mínimo: 15 cm. - Espesor máximo: 30 cm.
Zahorra artificial	0,25	$\epsilon_z = 2,16 \cdot 10^{-2} \cdot N^{-0,28}$	- Espesor mínimo: 20 cm (15 cm en arcenes y en secciones 3221 y 4211) - Espesor máximo: 30 cm
Macadam	Material equivalente a la zahorra artificial, que se aplicará en algún tipo de soluciones		- Espesor mínimo: 20 cm (15 cm en arcenes) - Espesor máximo: 30 cm

N : Número de ejes equivalentes de 128 Kn (13 t).

ϵ : Deformación unitaria (ϵ_r = radial de tracción, y ϵ_z = vertical de compresión).

σ_r : Tensión de tracción en MPa.

R_f : Resistencia a flexotracción del material en MPa.

(*) Coeficiente aplicable exclusivamente en la categoría de tráfico pesado T42.