



Departamento de Obras Públicas,
Urbanismo y Transportes.

**RECOMENDACIONES TÉCNICAS
PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE
FIRMES DE LA RED AUTONÓMICA
ARAGONESA**

Abril 2011

PONENCIA TÉCNICA COORDINADA POR

Gonzalo Fernández Manceñido

EQUIPO REDACTOR

Aurelio Ruiz Rubio (Dirección Técnica)

Pilar Mañas Pascual

Jesús Esteban Martínez

Carlos Jofré Ibáñez (Pavimentos rígidos y hormigones)

COMITÉ NACIONAL DE EXPERTOS

Guillermo Albretch Arquer

Alberto Bardesi Orue-Echevarría

Jacinto García Santiago

Carlos Jofré Ibáñez

Carlos Kraemer Heilperno

Jesús Díaz Minguela

Jose Antonio Navarro Jausoro

Jorge Ortiz Ripoll

José Antonio Soto Sánchez

Alberto Gracia Bernal

Octavio Plumed Parrilla

Joaquín Bernad Bernard

José Manuel Almarza Ramírez

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. LA RED AUTONÓMICA DE CARRETERAS DE ARAGÓN	9
3. PROCEDIMIENTO DE DIMENSIONAMIENTO	19
4. TRÁFICO PESADO	25
5. EXPLANADA MEJORADA	29
6. CLIMA	39
7. SECCIONES DE FIRME Y ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES	43
8. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	77
9. DEFINICIONES	79

**ANEXO1. PLIEGO DE MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS EN FRÍO,
ELABORADO POR LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES
BITUMINOSAS (ATEB).**

**ANEXO2. PLIEGO DE GRAVA-EMULSIÓN, ELABORADO POR LA
ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS (ATEB).**

1 INTRODUCCIÓN

NECESIDAD DE LAS RECOMENDACIONES

El Plan General de Carreteras de Aragón 2004-2013 estableció, entre sus objetivos, la redacción e implementación de unas recomendaciones técnicas sobre firmes de carreteras que reflejaran las peculiaridades de la red autonómica aragonesa.

La existencia de unas recomendaciones específicas para Aragón se justifica por las características propias del tráfico en la red Autonómica Aragonesa, en la que no se dan tráficos realmente altos, y por las peculiaridades regionales de los materiales, como es la frecuente presencia de yesos, arcillas y suelos colapsables y por un clima de grandes contrastes. La generalidad del ámbito geográfico de aplicación de la normativa estatal no permite detallar estas singularidades.

Por ello y debido a que los criterios de diseño de firmes tienen una notable influencia en el coste de construcción de las carreteras y de su posterior mantenimiento, era necesario adaptar los criterios de dimensionamiento de firmes a las características propias de Aragón, tanto presupuestarias, como de tráfico, extensión, clima y materiales disponibles, para conseguir la máxima eficiencia en el desarrollo de la red viaria de esta Comunidad Autónoma.

Por último, el desarrollo de documentos técnicos de referencia, propios de la Comunidad Autónoma de Aragón, confiere una mayor agilidad al proceso normativo, posibilitando su rápida adaptación a los cambios que en el futuro sin duda se producirán, tanto en las necesidades de nuestra Comunidad autónoma derivadas de su desarrollo, como en otros aspectos más técnicos relacionados con la experiencia, los materiales utilizables o, tal vez, nuevas

necesidades estructurales.

Todo lo anterior deja patente la conveniencia y oportunidad de desarrollar unas recomendaciones de dimensionamiento adaptadas a las circunstancias propias de la Red Autonómica Aragonesa.

OBJETIVO

El objetivo de este documento es crear un marco de referencia que permita dimensionar los firmes de la Red Autonómica Aragonesa (RAA) de manera que las infraestructuras viarias tengan un periodo de vida útil adecuado, sean cómodas y seguras para la circulación, respetuosas con el medio ambiente, eficientes en cuanto a su coste, y todo ello a partir de la adaptación de los criterios técnicos de dimensionamiento a las peculiaridades de Aragón.

Estas *Recomendaciones* han permitido, al mismo tiempo, establecer una metodología sencilla que deberá facilitar y simplificar la labor de los proyectistas y la supervisión de los proyectos, unificando los criterios de dimensionamiento de firmes en el Gobierno de Aragón y adaptándolos a las experiencias de los últimos decenios en la gestión de la Red Autonómica Aragonesa.

ÁMBITO DE APLICACIÓN

El ámbito de aplicación de estas *Recomendaciones* es el de los proyectos de firmes para tramos de carretera de nueva construcción en la Red Autonómica Aragonesa. También es de aplicación en las actuaciones de acondicionamiento que incluyan la construcción de nuevos firmes debido a ensanches o mejoras de trazado y en la reconstrucción total de firmes existentes.

El campo de aplicación no incluye la reconstrucción parcial de firmes, ni los proyectos de rehabilitación superficial o estructural de carreteras en servicio en los que únicamente haya una aportación de capas. La rehabilitación de firmes se proyectará de acuerdo con la Norma 6.3 IC del Ministerio de Fomento.

No se prevé la construcción de los firmes por etapas; por tanto los

proyectos deberán contemplar la ejecución completa del firme que figura en este documento.

Las secciones de firme y de explanada mejorada que se incluyen en estas *Recomendaciones* son aplicables únicamente en los supuestos considerados en las mismas. En otro caso deberán justificarse las soluciones adoptadas y especialmente la equivalencia estructural y la durabilidad de las nuevas secciones adoptadas.

Estas *Recomendaciones* deberán seguirse en todos los proyectos de la Dirección General de Carreteras del Gobierno de Aragón y las prescripciones pertinentes se incluirán en los Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares de cada proyecto, completándose, en lo que sea necesario, con la normativa estatal, aunque el proyectista también puede, previa autorización de la Dirección General de Carreteras, aplicar las normas sobre proyecto de firmes del Ministerio de Fomento.

CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES

Estas *Recomendaciones* para el dimensionamiento de firmes se han redactado siguiendo el formato y contenido de la Norma 6.1 IC del Ministerio de Fomento. Se presentan en forma de catálogo de explanadas mejoradas y de secciones de firme.

Para ayudar a la correcta interpretación y aplicación de estas recomendaciones se ha elaborado un segundo documento denominado *Guía para la aplicación de las Recomendaciones técnicas*.

En la Guía se incluyen las directrices necesarias para realizar cálculos analíticos de dimensionamiento de firmes que pueden resultar de utilidad en algunas situaciones concretas

En relación con los suelos en las *Recomendaciones* se incluyen criterios específicos, adaptados a la experiencia aragonesa, para el tratamiento de los suelos yesíferos y, especialmente en la Guía, se da información sobre el correcto tratamiento de algunos suelos propios de Aragón, con los que conviene ejecutar prácticas constructivas especiales, como son los casos de los suelos expansivos y colapsables.

En cuanto al tráfico, las recomendaciones se refieren especialmente a los que se dan en la Red Autonómica Aragonesa. Por tanto no se realiza el

dimensionamiento de firmes para las categorías de tráfico pesado T00 y T0, ya que no se presentan en la RAA. Para el dimensionamiento con estos tráficos se remite a la Norma 6.1 IC. Sí que se incluye la categoría de tráfico pesado T1 que, aunque tampoco se da actualmente, puede ser previsible en la evolución del tráfico durante los próximos años. Las categorías de tráfico inferiores a T1 se subdividen con respecto a la Norma 6.1 IC, buscando así dimensionamientos más ajustados a las características de la carretera y logrando, por tanto, una mayor economía.

Se contemplan tres tipos de firme:

- capas bituminosas apoyadas en zahorras
- capas bituminosas apoyadas en suelocemento
- pavimentos de hormigón vibrado, apoyados, dependiendo de la categoría de tráfico, sobre hormigón magro, sobre zahorras o directamente sobre la explanada.

No obstante, también son admisibles otras tipologías de firme que deberían proyectarse, en su caso, de acuerdo con la Norma 6.1 IC.

El documento incluye el dimensionamiento de otros firmes no contemplados en la Norma 6.1 IC y define detalladamente firmes para distintos viales particulares, como son las travesías, túneles, obras de fábrica o ensanches.

Con el propósito de contribuir a la mejora ambiental y potenciar el reciclaje se incluyen en el documento algunas recomendaciones para el empleo de residuos en la construcción de las nuevas carreteras.

METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL DESARROLLO DE ESTAS RECOMENDACIONES

La definición de los firmes propuestos en estas Recomendaciones se ha realizado de acuerdo con siguiente metodología:

- En primer lugar se han definido unos tipos de firme de empleo contrastado en Aragón y en otras regiones españolas.

- Cada una de estas secciones de firme iniciales se ha comprobado mediante un cálculo estructural analítico realizado aplicando procedimientos avalados por la experiencia técnica y recogiendo las últimas tendencias y novedades en este campo.
- Por último, sobre aquellas secciones que han resultado más adecuadas en la comprobación anterior, se han realizado los últimos ajustes y algunas recomendaciones relativas a las especificaciones de los materiales de acuerdo con las experiencias constructivas de la zona y de otras redes de carreteras.

La experiencia de Aragón se ha recogido a través de la documentación existente en la Dirección General de Carreteras del Gobierno de Aragón, la información suministrada por los técnicos de esta Dirección General y de los servicios provinciales correspondientes, y, finalmente, un trabajo de recogida de datos de campo que ha permitido evaluar el comportamiento de los firmes construidos en los últimos veinte años. Toda esta experiencia ha permitido verificar la validez de los resultados de los procedimientos de cálculo analítico, llegándose a un diseño final realmente adaptado a las características y condiciones regionales.

El documento final de las Recomendaciones ha sido evaluado, revisado y validado por un Comité Nacional compuesto por destacados expertos procedentes de administraciones, asociaciones, empresas constructoras y consultoras, laboratorios y universidades.

UTILIZACIÓN DE RESIDUOS

La Dirección General de Carreteras del Gobierno de Aragón tiene entre sus objetivos estratégicos el de potenciar el empleo de residuos y materiales reciclados en carreteras, como medida para proteger el medio ambiente, reducir los vertidos y minimizar el consumo de materiales vírgenes.

Por ello, los proyectistas deben contemplar siempre las posibles soluciones de firme que permitan conservar o reutilizar los materiales de las carreteras en servicio así como el empleo de materiales de otros orígenes, que ofrezcan las necesarias garantías técnicas.

2 LA RED AUTONÓMICA DE CARRETERAS DE ARAGÓN

LAS CARRETERAS Y SUS CLASES

Se consideran carreteras las vías de dominio y uso público, proyectadas y construidas fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles.

Las carreteras se clasifican, de acuerdo con sus características, en autopistas, autovías, vías rápidas y carreteras convencionales.

Son **autopistas** las carreteras que están especialmente proyectadas, construidas y señalizadas como tales para la exclusiva circulación de automóviles y reúnen las siguientes características:

- a) No tener acceso a las mismas las propiedades colindantes.
- b) No cruzar a nivel ninguna otra senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía, ni ser cruzada a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna.
- c) Constar de distintas calzadas para cada sentido de circulación, separadas entre sí, salvo en puntos singulares o con carácter temporal, por una franja de terreno no destinada a la circulación o, en casos excepcionales, por otros medios.

Son **autovías** las carreteras que, no reuniendo todos los requisitos de las autopistas, tienen calzadas separadas para cada sentido de la circulación y limitación de accesos a las propiedades colindantes.

Son **vías rápidas** las carreteras de una sola calzada y con limitación total de accesos a las propiedades colindantes.

Son **carreteras convencionales** las que no reúnen las características propias de las autopistas, autovías y vías rápidas.

CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS DE ARAGÓN

La Comunidad Autónoma de Aragón tiene competencias exclusivas sobre las carreteras y caminos cuyo itinerario discurre íntegramente dentro de su territorio, de acuerdo con la atribución de competencias exclusivas establecida por el artículo 35.1.9 del Estatuto de Autonomía, aprobado por LO 8/82, de 10 de agosto, reformado por la LO 6/94, de 24 de marzo y posteriormente por la LO 5/96, de 30 de diciembre. Estas carreteras constituyen la **RED AUTONÓMICA ARAGONESA**.

En ejercicio de esta competencia se redactó la Ley de Carreteras 6/93, sustituida luego por la Ley 8/98, en la que se regulan la planificación, financiación, proyecto, construcción, conservación, uso y explotación de la Red Autonómica de Carreteras Aragonesa.

Dicha Ley clasifica la Red Autonómica Aragonesa en Red Básica, Red Comarcal y Red Local. El Reglamento General, que en desarrollo de esta Ley fue aprobado por el Decreto 206/03, especifica las finalidades de cada una de las redes.

RED BÁSICA.- Está compuesta por las carreteras incluidas en los itinerarios que vertebran el territorio aragonés y conecta con la red viaria de titularidad estatal, con la de las Comunidades Autónomas limítrofes y con Francia.

Los fines de esta red son:

Canalizar el tráfico de largo recorrido y el de tránsito a través de la Comunidad Autónoma de Aragón.

Asegurar las conexiones entre las principales localidades y otros puntos básicos del territorio.

Asegurar las conexiones de primer grado con las Comunidades Autónomas limítrofes y con el Sur de Francia.

Proporcionar acceso a las grandes infraestructuras del sistema de transportes de la Comunidad Autónoma de Aragón, tales como aeropuertos, principales líneas ferroviarias y carreteras estatales.

RED COMARCAL.- Constituida por las carreteras que vertebran unas o varias comarcas y por aquellas otras que unen núcleos de importancia comarcal con la red Básica o con sus zonas de influencia.

Sus finalidades son:

Canalizar el tráfico de corto recorrido o el tráfico existente hacia la Red Básica.

Unir las diferentes cabeceras de comarcas o localidades y puntos de cierta entidad no conectados con la Red Básica.

Configurar itinerarios alternativos a los de la Red Básica cuando la intensidad del tráfico así lo justifique.

Facilitar las conexiones de segundo grado con los territorios limítrofes de otras Comunidades Autónomas y del Sur de Francia.

RED LOCAL.- Comprende el resto de las carreteras autonómicas que son accesorias a los anteriores itinerarios y las de acceso a áreas naturales o de interés turístico, además de otras que puedan ser alternativas de la Red Comarcal.

Los fines de esta red son:

Servir de soporte a la circulación intermunicipal y a la conexión de los núcleos y lugares que no se encuentren situados sobre la Red Básica o Comarcal con estas redes.

Garantizar el acceso rodado, en condiciones adecuadas, a todos los núcleos de población y servir de soporte a las áreas naturales, de

interés turístico, histórico y cultural, y a otros objetivos de similar naturaleza.

Adicionalmente existen otras redes que teniendo igualmente su inicio y su final dentro del territorio aragonés no forman parte de la Red Autonómica de Carreteras de Aragón. Estas son:

REDES PROVINCIALES.- Integradas por las carreteras sometidas a la titularidad de las respectivas diputaciones provinciales de Aragón.

REDES MUNICIPALES.- Integradas por las carreteras sometidas a la titularidad de los municipios de Aragón.

Finalmente, la **RED DE INTERÉS GENERAL DEL ESTADO**, cuenta en Aragón con varios grandes ejes radiales y con un conjunto de itinerarios transversales.

LONGITUD DE LAS REDES

Como se ha indicado en el epígrafe anterior las competencias de la Comunidad Autónoma de Aragón en materia de carreteras, de acuerdo con su Estatuto de Autonomía, se extienden a las carreteras que discurren íntegramente por el territorio de Aragón y que constituyen la denominada Red Autonómica Aragonesa. Únicamente quedan al margen los ejes de comunicación viaria que transcurren por Aragón y que son competencia del Estado.

Desde un punto de vista cuantitativo, de los más de 11.000 kilómetros de carreteras existentes en el territorio aragonés, la red autonómica supera los 5.600 km y la red de las diputaciones provinciales está por encima de los 3.300 km, sirviendo ambas como medio de unión entre muchas comarcas de la Comunidad Autónoma de Aragón y entre un grupo importante de sus municipios, muchos de ellos de tamaño mediano o pequeño.

La Tabla 2.1 detalla la distribución de las longitudes de carreteras por provincias y titularidad y la Figura 2.1 muestra el plano de la Red Autonómica de Carreteras de Aragón.

TABLA 2.1 LONGITUD DE LAS REDES DE CARRETERAS DE ARAGÓN

(Kilómetros)

PROVINCIAS	DEPENDENCIA			
	TOTAL	DEL ESTADO	DGA	DIPUTACIONES PROVINCIALES
Huesca	4 291	806	2 073	1 412
Teruel	3 166	682	1 588	896
Zaragoza	3 975	951	2 009	1 015
ARAGÓN	11 432	2 439	5 670	3 323

OROGRAFÍA

La orografía aragonesa es peculiar por la alternancia del relieve. Está formada por los Pirineos en el norte, la cordillera del Sistema Ibérico en el sur y en el centro, entre ambas cordilleras, la gran zona llana de la Depresión del Ebro. Por tanto, de norte a sur, se encuentran las siguientes zonas, orográficamente diferenciadas:

- Los Pirineos Aragoneses que constituyen el sector más amplio y alto de la cordillera pirenaica, con los picos de Aneto (3.404 m), Posets (3.371 m), Monte Perdido (3.355 m), la Maladeta (3.312 m) y Vignemale (3.298 m). La zona prepirenaica la constituyen montes de la era secundaria y terciaria, como son las sierras de la Peña y de Guara.
- La Depresión del Ebro que ocupa el centro de la región. Se trata de una extensa llanura ondulada cortada por los valles de los afluentes del río Ebro, con una altura que oscila entre los 200 y los 400 m. Las zonas más cercanas a las dos grandes cordilleras reciben el nombre de 'somontanos'. Esta depresión tuvo su origen en una amplia fosa tectónica que se ha ido rellenando, formándose cuatro grandes terrazas muy erosionadas. Al norte del cauce del Ebro se encuentran los espacios secos y semidesérticos más deprimidos de la comunidad, que se denominan las Bardenas al oeste y los Monegros al este.
- El Sistema Ibérico, que constituye una cadena de nudos orográficos relativamente aislados. Al oeste, el macizo del Moncayo (2.345 metros de altura) conforma una avanzadilla de la Cordillera Ibérica, al que siguen las sierras turolenses de Albarracín, los Montes

Universales y Javalambre, con los picos de San Juan (1.870 metros) y Javalambre (2.020 metros). Al este se encuentran las sierras de Cucalón y de San Justo que separan el territorio aragonés de la provincia de Castellón.

CLIMA

En términos generales el clima de Aragón se considera intermedio entre mediterráneo y continental, pero dentro de la comunidad autónoma existen zonas localizadas con climas propios o microclimas extremos y muy distintos entre sí. En la alta montaña hay zonas con hielos perpetuos (glaciares), pero relativamente cerca, se encuentran zonas desérticas como es el caso de los Monegros, pasando por un clima continental intenso en la zona de Teruel-Daroca.

En el valle del Ebro los inviernos son relativamente suaves (aunque la sensación térmica disminuye mucho por el fuerte viento) y las temperaturas en verano pueden alcanzar los 40 grados. En las zonas de montaña los inviernos son más largos y las temperaturas medias pueden ser hasta 10 grados más bajas que en el valle.

OTRAS CARACTERÍSTICAS RELEVANTES

Además de las características de orografía y clima, que hemos descrito y que tienen una evidente influencia en el dimensionamiento de los firmes más adecuados para esta Comunidad Autónoma, Aragón también tiene unas características específicas en lo que se refiere a su mapa demográfico que es muy heterogéneo, con algunas zonas concretas muy urbanizadas, y otras con unas densidades de población relativamente bajas.

Estas características también afectan significativamente al dimensionamiento de firmes y a la selección de las secciones más adecuadas debido a su notable influencia en los presupuestos de construcción y mantenimiento

Las características de mayor relevancia en este aspecto son:

- Aragón es la cuarta Comunidad Autónoma por tamaño, superada en extensión por Andalucía, Castilla-La Mancha y Castilla y León.

- Su red de carreteras es la quinta en longitud de las redes autonómicas, detrás de las tres Comunidades Autónomas citadas anteriormente y de Cataluña.
- La población de Aragón es la undécima de las Comunidades Autónomas. Únicamente Asturias, Baleares, Cantabria, Extremadura, La Rioja y Navarra tienen una población menor.
- En Aragón existen aproximadamente 4,31 Km de carreteras autonómicas por cada 1.000 habitantes, lo que supone prácticamente el triple de la media nacional, que es de 1,55 Km por habitante. Sólo Castilla y León, La Rioja y Navarra tienen un valor superior para este índice.
- La baja densidad de población y la gran longitud de la red hacen que las necesidades de financiación *per cápita* para construcción de carreteras sea muy superior a las de otras Comunidades Autónomas, teniendo un efecto equivalente en los gastos de conservación.

En la Tabla 2.2 (*Instituto Nacional de Estadística, 2009*) se pueden comparar las características de superficie, población y longitud de red para las diferentes Comunidades Autónomas.

TABLA 2.2 ÁREA, POBLACIÓN Y LONGITUD DE LA RED DE CARRETERAS DE LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Área (Km ²)	Población (habitantes)	Longitud de la red autonómica (Km)	Km carretera autonómica /Población (x1 000)	Km carretera autonómica /Área (km2)
Andalucía	87 598	8 150 467	10 360	1,27	0,12
Aragón	47 720	1 313 735	5 670	4,31	0,12
Asturias	10 604	1 058 923	4 200	3,97	0,40
Baleares	4 992	1 070 066			
Canarias	7 447	2 076 585			
Cantabria	5 321	576 418	1 984	3,44	0,37
Castilla y León	94 225	2 510 545	11 280	4,49	0,12
Castilla-La Mancha	79 462	2 022 647	8 479	4,19	0,11
Cataluña	32 113	7 290 292	5 840	0,80	0,18
Comunidad Valenciana	23 255	4 991 789	2 881	0,58	0,12
Extremadura	41 635	1 080 439	3 796	3,51	0,09
Galicia	29 574	2 738 930	5 435	1,98	0,18
Madrid	8 028	6 295 011	2 572	0,41	0,32
Murcia	11 313	1 443 383	3 196	2,21	0,28
Navarra	10 390	614 526	3 921	6,38	0,38
País Vasco	7 235	2 136 061	..	..	
Rioja	5 045	315 718	1 429	4,53	0,28
Ciudad Autónoma de Ceuta	19	72 561	18	0,25	0,95
Ciudad Autónoma de Melilla	13	70 076	16	0,23	1,23
Total/media	505 989	45 828 172	71 066	1,55	0,14

Por último las tablas 2.3 y 2.4 clasifican la actual Red Autonómica Aragonesa por anchura y tipo de pavimento y presentan la longitud en Km

que corresponde a cada grupo.

TABLA 2.3 DISTRIBUCIÓN DE LA RED AUTONÓMICA ARAGONESA POR ANCHURA DEL PAVIMENTO

LONGITUD (en Km) DE LA RED AUTONÓMICA SEGÚN ANCHURA DEL PAVIMENTO						
TOTAL	CARRETERAS DE UNA CALZADA				CARRETERAS DE DOBLE CALZADA	AUTOVÍAS Y AUTOPISTAS
	TOTAL	De < 5 metros	De 5 a 6,99 metros	De >7 metros		
5 670	5 650	1 706	1 937	2 018	9	0

TABLA 2.4 DISTRIBUCIÓN DE LA RED AUTONÓMICA ARAGONESA POR TIPO DE PAVIMENTO

LONGITUD (en Km) DE LA RED AUTONÓMICA ARAGONESA SEGÚN TIPO DE PAVIMENTO					
TOTAL	DE UNA CALZADA				DE DOBLE CALZADA
	Total	Con pavimento de hormigón o aglomerado asfáltico	Con tratamiento superficial	Con macadam y otros	Autovías y autopistas con pavimento de hormigón o aglomerado asfáltico
5 670	5 650	2 258	3 384	19	9

3 PROCEDIMIENTO DE DIMENSIONAMIENTO

CONSIDERACIONES GENERALES

Se entiende como firme el conjunto de capas ejecutadas con materiales seleccionados, colocado sobre la explanada para soportar las cargas del tráfico y permitir la circulación en condiciones de seguridad y comodidad. Constituye la estructura resistente de la calzada o arcén y comprende en general, de abajo arriba, las capas de subbase, base y pavimento.

El "Dimensionamiento de firmes" es un proceso cuya finalidad es determinar los espesores y materiales de las distintas capas que constituyen un firme, de manera que se alcance una vida de servicio determinada, se consiga una superficie cómoda y segura y todo ello con el mínimo coste posible.

En este documento se define el proceso de dimensionamiento de firmes que deberá aplicarse para las carreteras de la Red Autonómica Aragonesa. En él se definen los distintos elementos que influyen en el diseño: el período de servicio, los factores externos a considerar y su procedimiento de determinación, los tipos de materiales admisibles, las secciones de firme y el método de selección de la opción más adecuada para cada proyecto concreto.

Las soluciones de dimensionamiento se presentan en forma de catálogo. Este se ha obtenido como resultado de la experiencia técnica de carreteras contrastada con los resultados de los correspondientes cálculos analíticos de tensiones y por último matizadas con las experiencias que se han tenido en Aragón y en otras regiones.

De este modo, el ingeniero, al redactar el proyecto, no tiene que realizar nuevos cálculos, sino que simplemente debe seleccionar una explanada y una sección de firme dentro de una serie de opciones que el catálogo le ofrece para cada combinación de factores. Con esta estructura de catálogo se pretende, además, homogeneizar los proyectos y facilitar la labor de los proyectistas.

La aplicación del procedimiento se realiza de acuerdo con las siguientes etapas:

1. En primer lugar se selecciona el **período de servicio del firme**.
2. A continuación se determinan los **factores de entrada** para el dimensionamiento: categoría de tráfico pesado, categoría de explanada y zona climática.
3. A partir de los factores de entrada en el catálogo (categoría de tráfico pesado y categoría de explanada mejorada) se obtienen las posibles **secciones estructurales del firme** y se definen las alternativas para las distintas capas. Si el tramo de proyecto incluye la pavimentación de zonas singulares como obras de fábrica, túneles, etc. se procede también a su dimensionamiento.
4. La última fase es la de **selección del tipo de firme y de sus materiales** constituyentes en función de la zona climática, los costes asociados y de consideraciones técnicas y medioambientales.

Todos los estudios realizados serán incluidos en el Anejo de Firmes del Proyecto de construcción.

PERÍODO DE PROYECTO

Para firmes de nueva construcción y para la reconstrucción y ensanche de firmes existentes se adopta como período de proyecto 20 años en el caso de firmes con capas bituminosas, y 30 años en firmes con pavimento de hormigón. El catálogo de secciones de firme de esta Norma está previsto para estos períodos de proyecto ya que se ha considerado estos valores para las comprobaciones analíticas de la resistencia a fatiga de las distintas capas de las secciones estudiadas.

En el capítulo 2 de la Guía se incluyen los criterios que deben tenerse en cuenta para poder aplicar el catálogo en aquellos casos especiales en que haya que dimensionar un firme para períodos inferiores a 20 años en el caso de firmes con mezclas bituminosas o a 30 años cuando el pavimento es de hormigón, pero siempre superiores a los 10 años o a los 20 años respectivamente

En ningún caso se admite la construcción por etapas.

TRÁFICO

El tráfico es un factor de entrada decisivo en el dimensionamiento de firmes. El método incluye el factor tráfico por medio de su caracterización en Categorías de Tráfico Pesado. Estas se definen en función de la **Intensidad Media Diaria de Vehículos Pesados en el carril de proyecto** prevista para el año de apertura al tráfico (IMDp). Su determinación necesita de la IMD de vehículos y del porcentaje de pesados en el carril de proyecto. Estos datos se obtendrán, en cada caso, a partir del análisis de los aforos existentes o de otros que se realicen específicamente para el proyecto. En algunos casos excepcionales se admite que se obtengan por estimaciones.

El Método parte de la nomenclatura y clasificación de tráfico que se utiliza actualmente en la Norma 6.1 IC pero, dadas las características del tráfico existente en la Red Autonómica Aragonesa, no se han considerado los tráfico superiores al T1 ya que no se dan en la RAA, y los tráfico inferiores a T1 se han subdividido, con el fin de ajustar más los criterios y especificaciones para estos tráfico, lo que puede tener una notable trascendencia económica ya que son los que se dan en la mayor parte de esta extensa red. Por tanto, cada una de las categorías T2 a T4 se ha subdividido en dos o tres subcategorías, según los casos, denominándolas con los sufijos "a", "b" y "c".

En el caso de que se tuviese que proyectar un tramo para un tráfico superior a T1 se debería emplear la Norma 6.1 IC del Ministerio de Fomento.

Los estudios y análisis de tráfico deben incluirse en el Anejo de Tráfico del proyecto.

EXPLANADA MEJORADA

Se consideran tres categorías de explanada mejorada con capacidad de soporte creciente, EX1, EX2 y EX3, definidas en función del módulo de Young equivalente que se obtiene por cálculo analítico. Para cada categoría de tráfico pesado se admiten una o varias categorías de explanada.

El proyectista debe caracterizar el terreno natural subyacente, tramificarlo en grupos homogéneos y comparar su capacidad de soporte con la exigida a la categoría de explanada mejorada necesaria para el firme. Si, como es frecuente, el terreno natural no cumple los criterios que establece este documento para la categoría correspondiente de explanada mejorada, el proyectista deberá definir, de acuerdo con el catálogo de explanadas mejoradas que se incluye en estas *Recomendaciones*, los espesores y materiales de las capas que deberán extenderse para que se cumplan dichos criterios y se optimice técnica y económicamente el conjunto del firme.

En estas *Recomendaciones* se ha tenido en cuenta los materiales existentes en Aragón y la experiencia acumulada en la utilización de los mismos. Es por ello que:

- Se han modificado algunas de las especificaciones exigidas a los suelos para terraplenes indicadas en el Art 330 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes PG-3, del Ministerio de Fomento, en los referente al contenido de yesos y sales solubles

- En SUELO SELECCIONADO se ha añadido el tipo 4, al que le corresponde un índice CBR >40 y una plasticidad reducida.

El estudio del terreno subyacente se incluirá en el Anejo Geotécnico y el de las capas de explanada mejorada en el Anejo de Firmes del Proyecto de Construcción.

CLIMA

Los factores climáticos se tienen en cuenta en el método de dimensionamiento mediante la definición de zonas térmicas estivales y zonas climáticas, ambas definidas en categorías amplias.

Se definen tres **zonas térmicas**, en función de las temperaturas ambientales máximas en la estación meteorológica más próxima. Estas zonas se utilizan para la aplicación de los artículos del PG-3 relativos a los materiales bituminosos.

Finalmente se definen dos **zonas pluviométricas** a efectos del sellado de las juntas en los pavimentos de hormigón, en función de la precipitación media anual en mm.

MATERIALES

En estas Recomendaciones se da un conjunto de directrices sobre la utilización de los distintos materiales para capas de firme, que modifican en algunos aspectos a las contenidas en el PG-3 y en la Norma 6.1 IC. En todo aquello que no se especifique en este documento se debe seguir lo prescrito en los dos documentos señalados.

En el catálogo de secciones propuestas se emplean los siguientes materiales: zahorras, suelo-cemento, grava-emulsión, tratamientos superficiales mediante riego con gravilla, lechadas y microaglomerados bituminosos en frío, mezclas bituminosas, hormigón magro vibrado y hormigón vibrado de firme. Los correspondientes riegos de adherencia, imprimación y curado, no se incluyen en el catálogo pero deben ser empleados en proyecto de acuerdo con lo indicado en el PG-3.

Las prescripciones sobre materiales para el firme deben incluirse en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto.

DISEÑO DE LOS FIRMES

El documento recoge un catálogo de secciones de firme predefinidas. Como norma general este catálogo incluye tres secciones de firme para cada combinación de categorías de tráfico y explanada mejorada; una sección está formada por mezclas bituminosas y zahorras, otra por mezclas bituminosas y suelocemento y una tercera por pavimento de hormigón sobre hormigón magro, sobre zahorras o directamente sobre la explanada, en función de la categoría de tráfico.

El empleo de otros materiales como gravacemento es admisible, pero en

ese caso los proyectos deben ser redactados de acuerdo con la Norma 6.1 IC.

Se dan también las soluciones que se recomiendan para los arceles y otros tramos de firmes singulares, como los de obras de fábrica, túneles o travesías.

Además, se incluyen criterios para el dimensionamiento de ensanches y para la reconstrucción de firmes existentes.

4 TRÁFICO PESADO

CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO

Una de las variables que determinan la estructura del firme es el tráfico previsto. Para caracterizar este se emplea la Intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) que se prevea en el carril de proyecto para el año de apertura al tráfico.

La IMDp se obtendrá a partir de los aforos de tráfico de la RAA o de estudios específicos.

El carril de proyecto de las autopistas, autovías y carreteras de doble calzada se clasificará como mínimo con la categoría T1.

Con el fin de aplicar el procedimiento de dimensionamiento de firmes, y dadas las características del tráfico en la Red Autonómica Aragonesa, se han definido las nueve subcategorías de tráfico pesado que figuran en la Tabla 4.1 que corresponden a sucesivos intervalos de la IMDp en el año de apertura al tráfico. Sin embargo, a los efectos de la aplicación del PG-3, las prescripciones que este establece para las categorías generales T_i , son de aplicación a las dos, o tres, subcategorías en las que cada una se subdivide y que se han denominado con los sufijos "a", "b" y "c" para escalones decrecientes de la Intensidad media diaria de vehículos pesados.

TABLA 4.1 CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO

CATEGORÍAS DEL TRÁFICO PESADO		
CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	IMDp
T1	T1	800 - 2000
T2	T2a	600 - 799
	T2b	400 - 599
	T2c	200 - 399
T3	T3a	150 - 199
	T3b	100 - 149
	T3c	50 - 99
T4	T4a	25 - 49
	T4b	< 25

CONSIDERACIONES DE PROYECTO RELATIVAS AL TRÁFICO.

CARRIL DE PROYECTO

Salvo justificación en contrario, el carril de proyecto será aquél para el que se prevea un mayor número de vehículos pesados.

Cuando no se disponga de datos específicos sobre la distribución del tráfico pesado por carriles se puede suponer que:

- En carreteras de dos carriles y doble sentido de circulación, y con una anchura de calzada superior a 7 m, el carril de proyecto soportará el 50% del total de vehículos pesados que circule por la calzada. Si la anchura de calzada se encuentra entre 5 y 7 m se considerará que el carril de proyecto soportará el 75% del total de vehículos pesados. Para anchuras inferiores a 5 m se estimará que el 100% de los vehículos pesados circulan por el carril de proyecto.

- En calzadas de dos carriles por sentido de circulación se debe suponer que circulará por el carril de proyecto el 100% de los vehículos pesados que circulen en ese sentido.
- En calzadas de tres o más carriles por sentido de circulación debe suponerse que incide en el carril de proyecto el 85% de los vehículos pesados que circulan en ese sentido.

PERIODO DE PROYECTO

En firmes de nueva construcción y en la reconstrucción de firmes existentes el periodo de proyecto será de 20 años en los que tengan mezclas bituminosas y de 30 años en aquellos con pavimento de hormigón. Con estos valores se han realizado los cálculos analíticos que soportan las estructuras recomendadas en el catálogo de firmes (Figura 7.1).

En la ampliación de calzada de firmes existentes podrá adoptarse, de manera justificada, periodos de servicio inferiores. En la *Guía* se explica con detalle cómo se puede aplicar el catálogo para periodos de proyecto inferiores a 20 o 30 años, respectivamente.

IMD_p EN AQUELLOS CASOS EN QUE NO SE CUENTA CON DATOS DE AFORO

En los casos en que no se disponga de estimaciones de tráfico para las vías de servicio o ramales, se podrán dimensionar las secciones de firme para dos categorías de tráfico por debajo de la definida para la vía principal.

5 EXPLANADA MEJORADA

CATEGORÍAS DE EXPLANADA MEJORADA

La explanada es la segunda variable fundamental en el dimensionamiento del firme. En el catálogo se utilizan tres categorías de Explanada Mejorada denominadas EX1, EX2 y EX3, en orden creciente de capacidad de soporte. Sus características y procedimientos de formación, para diferentes situaciones que pueden presentarse, se definen en este capítulo.

La Tabla 5.1 indica, en función del Tráfico de Proyecto, la categoría mínima de explanada mejorada que debe emplearse.

TABLA 5.1 CATEGORÍAS NECESARIAS DE EXPLANADA MEJORADA

TRÁFICO DE PROYECTO	CATEGORÍA DE EXPLANADA MEJORADA
T3c ó superior	EX2, EX3
T4a y T4b	EX1, EX2, EX3

CATÁLOGO DE EXPLANADAS MEJORADAS

La Figura 5.1 presenta diferentes alternativas para conseguir cada una de las categorías de explanada mejorada, en función del tipo de terreno sobre el que se apoyen, denominado "Terreno Subyacente". Los espesores, que en la figura se indican en centímetros, son los mínimos en cualquier punto de la sección transversal.

Las Explanadas Mejoradas deben formarse utilizando una de estas combinaciones de capas y cada una de las capas deberá cumplir las prescripciones establecidas en el apartado "Características de los materiales" de este capítulo.

Para la elección entre las opciones que ofrece este catálogo, deben tenerse en cuenta los suelos disponibles, el coste resultante y los condicionantes

técnicos y medioambientales. Salvo justificación en contrario, en un proyecto se definirá una única Categoría de Explanada, si bien a lo largo de la traza ésta se podrá obtener a partir de suelos y espesores diferentes.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DEL TERRENO SUBYACENTE

El catálogo de la Figura 5.1 ofrece para cada categoría de explanada mejorada, varias alternativas para conseguirla en función de las características del terreno subyacente.

Con este propósito los suelos del Terreno Subyacente se clasifican en: **marginal o inadecuado** (SIN), **tolerable** (S0), **adecuado** (S1), **seleccionado** (tipo S2, S3 ó S4) y **roca** (R). La clasificación de los suelos se hará de acuerdo con el artículo 330 del PG-3, con las modificaciones recogidas en las siguientes recomendaciones.

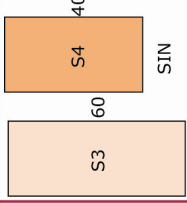
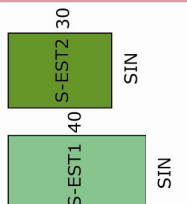
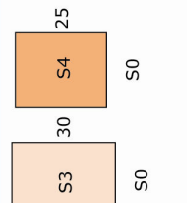
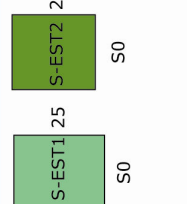
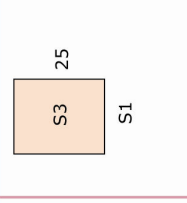
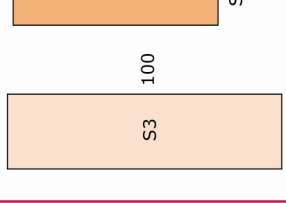
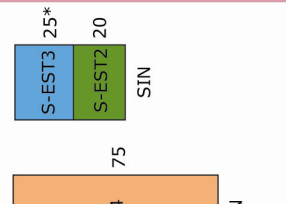
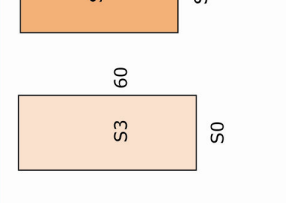
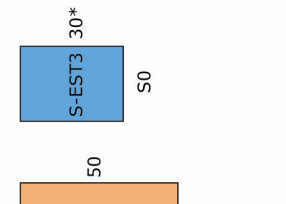
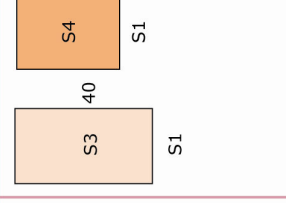
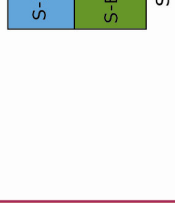
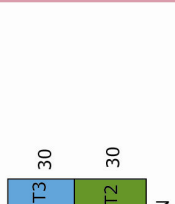
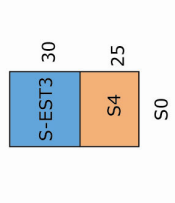
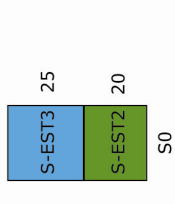
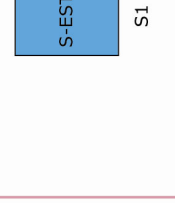
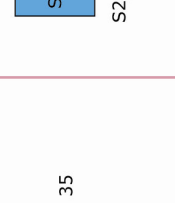
La clasificación del Terreno Subyacente debe hacerse en función del suelo o roca que se encuentre en el desmonte o se disponga en terraplén en una profundidad mínima de un metro bajo la explanada mejorada.

Los Terrenos Subyacentes constituidos por un "Pedraplén" (P) o un relleno todo-uno (TU), que cumplan con las características especificadas, respectivamente, en los artículos 331 y 333 del PG-3 y procedan de rocas estables, se asimilarán a un apoyo de suelo seleccionado tipo 3.

Los suelos marginales que, después de un estudio especial¹, se consideren aptos para su empleo en terraplenes, se asimilarán, exclusivamente a efectos del dimensionamiento de la explanada mejorada, a un apoyo de suelo tolerable tipo S0, siempre que se adopten medidas adecuadas para que no se vea afectada la durabilidad del firme que se apoye sobre ellos. La misma condición se aplicará a los materiales reciclados.

Los materiales del terreno subyacente se clasificarán de acuerdo con los criterios recogidos en la Tabla 5.2 siguiente.

¹ En la Guía para la correcta aplicación de estas Recomendaciones, se da información sobre el contenido de este estudio y los parámetros que deben controlarse en cada uno de los tipos de suelos marginales o inadecuados que son más habituales en Aragón.

FIGURA 5.1 CATÁLOGO DE EXPLANADAS MEJORADAS (Espesores de capa en cm)						
RED AUTONÓMICA ARAGONESA	TIPO DE SUELO EN LA EXPLANACIÓN (DESMONTE) O EN LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (TERRAPLEN, PEDRAPLEN O RELLENO TODO-UNO)					
	Suelos inadecuados o marginales SIN	Suelos tolerables S0		Suelos adecuados S1	Suelos seleccionados (S2/S3/S4)	Roca (ROCA)
CATEGORÍA DE LA EXPLANADA	EX1 (BAJA)	 SIN	 SIN	 SIN	 SIN	 HM ROCA
	EX2 (MEDIA)	 SIN	 SIN	 SIN	 SIN	 SIN
EX3 (ALTA)	 SIN	 SIN	 SIN	 SIN	 SIN	 S4 HM ROCA

(*) En explanadas EX2 se puede utilizar S-EST2 en vez de S-EST3, aumentando un 25% el espesor dado en la tabla para este último. Sobre suelo tolerable S0 esto requiere la construcción en dos tongadas.

TABLA 5.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES DEL TERRENO SUBYACENTE

Símbolo	Designación del Material	Características	Prescripciones complementarias para su empleo en Núcleo de terraplenes
SIN	Suelo Inadecuado	Según Art. 330 del PG-3 No cumple condiciones de S00	No utilizable
S00	Suelo Marginal	Según Art. 330 del PG-3, excepto Hinchamiento libre ⁽¹⁾ <5% No cumple condiciones de sales y yesos del S0	Estudio especial No utilizable en zonas inundables CBR ⁽¹⁾ ≥ 3
S0	Suelo Tolerable	Según Art. 330 del PG-3, excepto: Sales solubles distintas al yeso ⁽²⁾ <1% Contenido de yeso <10% Hinchamiento libre ⁽¹⁾ < 3% Colapso ⁽³⁾ < 1%	CBR ⁽¹⁾ ≥ 3 No utilizable en zonas inundables
S1	Suelo Adecuado	Según Art. 330 del PG-3, excepto Sales solubles distintas al yeso ⁽²⁾ <1% Contenido de yeso < 5%	CBR ⁽¹⁾ ≥ 5
S2	Suelo Seleccionado Tipo 2	Según suelo seleccionado del Art. 330 del PG-3, excepto Sales solubles distintas al yeso ⁽²⁾ <0,8% Contenido de yeso < 2 % Además en el caso de S4 LL < 25 e IP < 6	CBR ⁽¹⁾ ≥ 10
S3	Suelo Seleccionado Tipo 3		CBR ⁽¹⁾ ≥ 20
S4	Suelo Seleccionado Tipo 4		CBR ⁽¹⁾ ≥ 40
R	Desmonte en roca	Según art. 320 del PG-3	—
P	Pedraplén	Según art. 331 del PG-3	Art. 331 del PG-3
TU	Todo uno	Según art. 333 del PG-3	Art. 333 del PG-3

(1) Únicamente a efectos de clasificación de suelos, los ensayos de CBR e hinchamiento de los suelos para terraplenes se realizarán con la humedad óptima y el 95% de la densidad máxima del ensayo Proctor Modificado de referencia. Si por razón de la expansividad del suelo se considera necesario colocarlo con otra humedad y densidad de referencia, la caracterización del suelo, en lo que se refiere a los ensayos CBR e hinchamiento libre, se realizarán a esa misma densidad y humedad.

(2) % de sales solubles distintas de yeso = % de sales solubles - 0,843 % yesos, estando los % referidos a la muestra total.

(3) El ensayo de colapso se realizará únicamente en terreno natural subyacente y sobre muestras inalteradas.

SUELOS Y MATERIALES PARA LA EXPLANADA MEJORADA

Se considerarán aptos para constituir las explanadas mejoradas los suelos seleccionados y los estabilizados que cumplan las condiciones que se recogen en la Tabla 5.3. Estas características se deberán reflejar en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto junto con los símbolos empleados en esta Norma.

TABLA 5.3 MATERIALES PARA LA EXPLANADA MEJORADA

SÍMBOLO	MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
S3	Suelo Seleccionado Tipo 3	Según prescripciones del Art. 330 del PG-3 ⁽¹⁾ , excepto Sales solubles distintas al yeso ⁽²⁾ <0,8%	CBR ≥ 20 ⁽¹⁾
S4	Suelo Seleccionado Tipo 4	Contenido de yeso ⁽²⁾ <2% Además para el caso de S4 IP < 6 y LL < 25	CBR ≥ 40 ⁽¹⁾
S-EST1	Suelo Estabilizado in situ Tipo S-EST1	Según prescripciones del Art. 512 del PG-3, excepto Contenido en sulfatos ⁽³⁾	—
S-EST2	Suelo Estabilizado in situ Tipo S-EST2		
S-EST3	Suelo Estabilizado in situ Tipo S-EST3		

(1) Únicamente a efectos de clasificación de suelos, el ensayo CBR de los materiales para explanada mejorada se realizará con la humedad óptima y el 98% de la densidad máxima del ensayo Proctor Modificado de referencia.

(2) % de sales solubles distintas de yeso = % de sales solubles - (0,843 % yesos), estando los % referidos a la muestra total.

(3) No se podrán estabilizar con cal, o cemento, aquellos suelos cuyo contenido en sulfatos (expresado en SO₃) sea superior al medio por ciento (0,5%). Si el contenido de sulfatos es superior a una décima por ciento (0,1%) deberán emplearse cementos resistentes a los sulfatos.

En aquellos desmontes cuyos terrenos subyacentes estén constituidos por suelos inadecuados o marginales con un cernido por el tamiz 0,08 UNE igual o superior al 50% y con $LL > 65$ sobre los que se vayan a disponer explanadas mejoradas formadas por suelos seleccionados, se deberá colocar un geotextil que cumpla las prescripciones del artículo 422 del PG-3.

Cuando la capa de firme que vaya directamente sobre la explanada mejorada esté formada por un material tratado con cemento el contenido de sulfatos del suelo (expresado en SO_3) deberá ser inferior al medio por ciento (0,5%), y si este contenido es superior a una décima por ciento (0,1%) deberá emplearse un cemento resistente a los sulfatos.

Podrán utilizarse en la explanada mejorada residuos de demolición u otros materiales secundarios siempre que se demuestre su viabilidad técnica..

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

En la realización de las explanadas mejoradas que se presentan en la Figura 5.1 deben tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- Los espesores indicados son los mínimos en cualquier punto de una sección transversal. En ningún caso se podrá reducir el espesor establecido mediante el empleo de materiales de calidad superior a la especificada.
- El espesor total de los suelos y materiales incluidos dentro de las secciones de Explanada Mejorada se colocará en tongadas de espesor no superior a 30 cm.
- Los suelos de la Explanada Mejorada se compactarán en obra con una densidad igual o superior a la utilizada para su caracterización.
- En desmonte en roca, se evitará la retención del agua en el Plano de Explanada mediante los drenajes adecuados, se refinará el fondo de desmonte y se rellenarán las depresiones que retengan agua con hormigón en masa tipo HM-20.

La densidad de referencia a alcanzar en obra, que como mínimo será la utilizada para la clasificación de los materiales, debe estar definida en el Pliego de Prescripciones Técnicas del Proyecto.

CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA UNIDAD TERMINADA

El proyecto deberá exigir que se controle la ejecución de las explanadas mediante el ensayo de carga con placa, según la norma UNE 103808. Los valores mínimos del módulo de compresibilidad E_{v2} obtenido en el segundo ciclo de ensayo y la relación K entre los módulos de compresibilidad del segundo y primer ciclos de carga, serán los indicados en la Tabla 5.4.

TABLA 5.4 CAPACIDAD DE SOPORTE MÍNIMA DEL PLANO DE EXPLANADA⁽¹⁾

CATEGORÍA DE EXPLANADA MEJORADA	E_{v2} según Norma NLT-357/98	$K (E_{v2}/E_{v1})$ según Norma UNE 103808
EX1	≥ 100 MPa	$\leq 2,5$
EX2	≥ 150 MPa	
EX3	≥ 300 MPa	

(1) Estos valores del módulo de compresibilidad se deben considerar únicamente a efectos de control de obra, y en ningún caso como parámetro de entrada en métodos analíticos de cálculo.
Se admitirán valores de k superiores al máximo señalado si el valor del módulo de compresibilidad en el primer ciclo de carga E_{v1} es al menos el 60% del exigido en el segundo.

Alternativamente, y para categorías de tráfico pesado T2 o superior, o siempre que la explanada mejorada esté constituida por un suelo estabilizado, se podrá adoptar como criterio de control la deflexión patrón máxima (ver anejo 3 de la Norma 6.3 IC de Rehabilitación de firmes), de acuerdo con la Tabla 5.5. La utilización de otros equipos dinámicos de control precisará una justificación de la equivalencia con los equipos de referencia señalados y una calibración en el tramo de prueba.

TABLA 5.5 CARACTERIZACIÓN DE LA EXPLANADA MEJORADA EN FUNCIÓN DE LA DEFLEXIÓN PATRÓN

CATEGORÍA DE EXPLANADA MEJORADA	DEFLEXIÓN PATRÓN (10^{-2} mm)
EX1	220
EX2	180
EX3	125

DRENAJE DEL TERRENO

El sistema de drenaje se diseñará de forma que se garantice que la profundidad mínima del nivel freático respecto al Plano de Explanada sea la definida en la Tabla 5.6, en función del tipo de suelo del terreno subyacente.

TABLA 5.6 PROFUNDIDAD MÍNIMA DEL NIVEL FREÁTICO RESPECTO AL PLANO DE EXPLANADA

TERRENO SUBYACENTE	PROFUNDIDAD MÍNIMA DEL NIVEL FREÁTICO (cm)
INADECUADO O MARGINAL	120
TOLERABLE	100
ADECUADO	80
SELECCIONADO	60

A tal fin, se adoptarán medidas tales como la elevación de la rasante del Plano de Explanada, la colocación de drenes subterráneos, la interposición de una capa drenante, etc.

La evacuación de agua se debe prever también durante la fase de construcción del cimiento del firme, proyectando la red provisional correspondiente de cunetas y bajantes, y disponiendo las pendientes transversales adecuadas. Con este fin, durante las fases constructivas, la pendiente transversal de la coronación del terraplén o fondo de desmonte será al menos del 4%, excepto si están formadas por suelos estabilizados, en cuyo caso la mínima pendiente transversal será del 2%. En rampas se admitirá que esta pendiente se obtenga hasta con un ángulo de 60 grados respecto al eje. La pendiente transversal final del Plano de Explanada será igual a la de la superficie del pavimento.

6 CLIMA

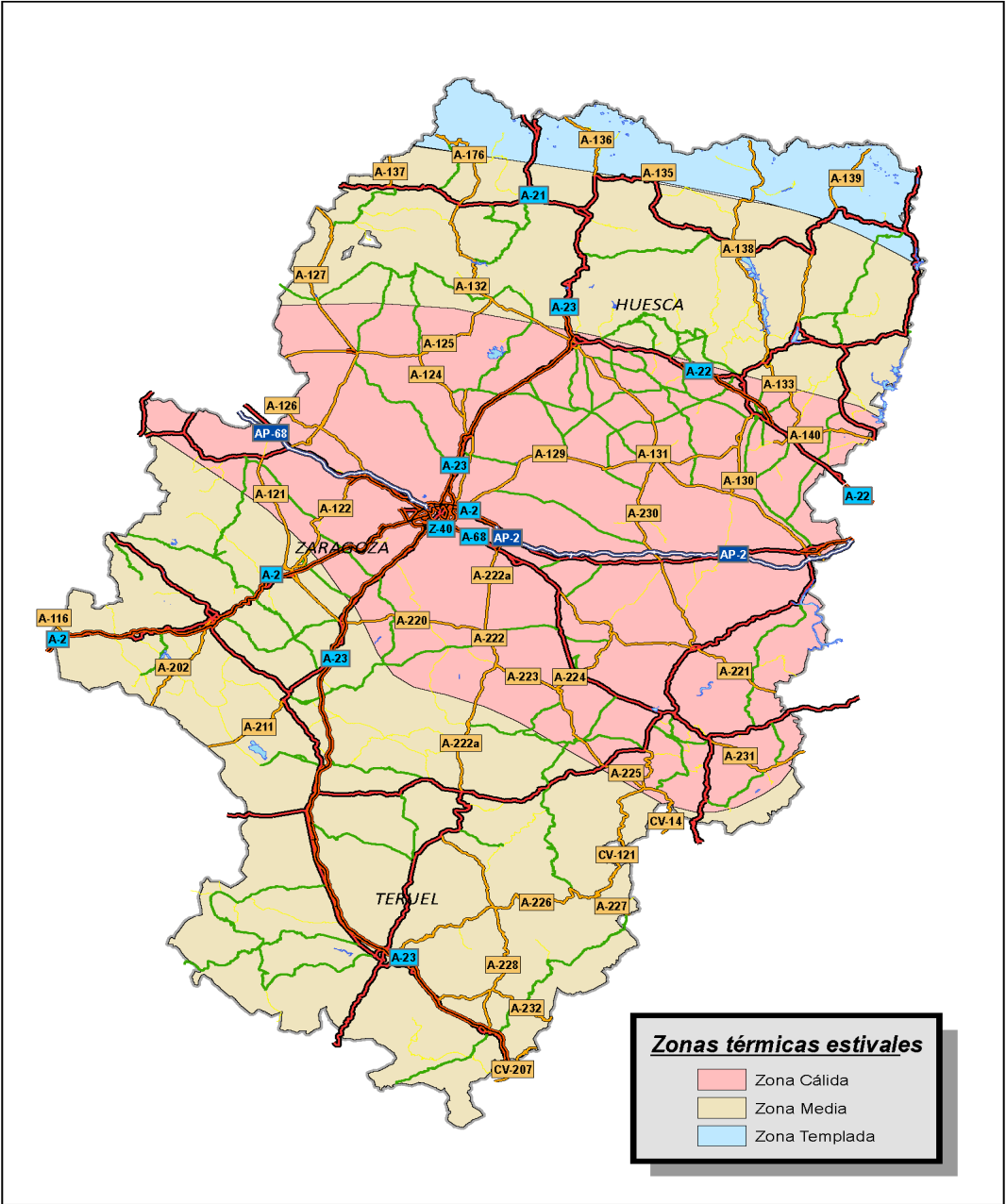
ZONAS TÉRMICAS ESTIVALES

A los efectos de la aplicación de los artículos del PG-3 relativos a los materiales bituminosos incluidos en estas *Recomendaciones*, así como de la separación entre juntas sin pasadores en los pavimentos de hormigón se considerarán las Zonas Térmicas Estivales definidas en la Figura 6.1.

ZONAS PLUVIOMÉTRICAS

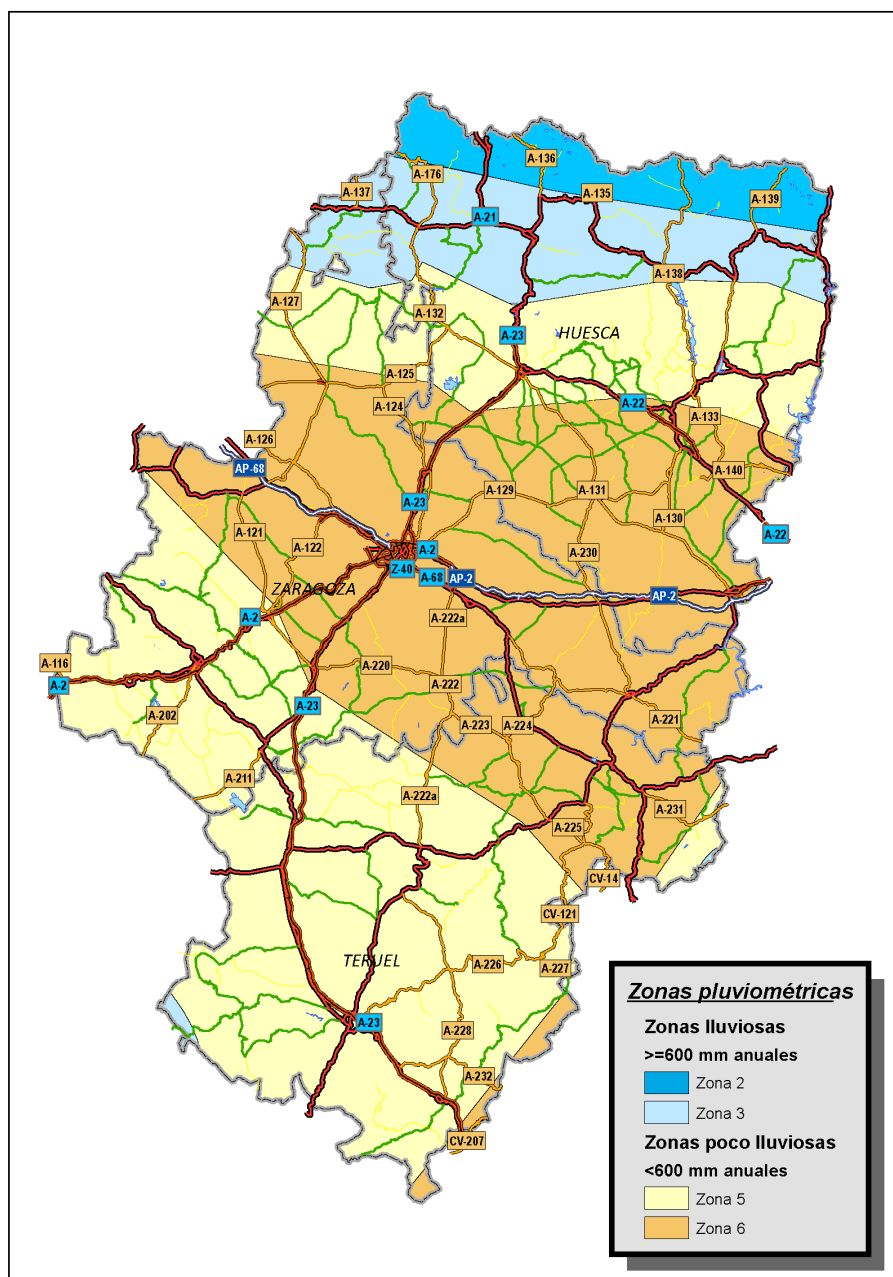
A los efectos del sellado de las juntas en los pavimentos de hormigón se considerarán las **Zonas Pluviométricas** definidas en la Figura 6.2.

Figura 6.1. Definición de Zonas Térmicas Estivales (*)



(*) Las Zonas Térmicas Estivales se definen en función de los valores máximos anuales de la media móvil de la temperatura máxima para 7 días consecutivos. La isolínea de separación entre ambas zonas, media y templada, se corresponde con una temperatura de 30 °C.

Figura 6.2 Zonas pluviométricas (*)



*) Las Zonas Pluviométricas se definen en función de la precipitación media anual en mm.

7 SECCIONES DE FIRME Y ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

INTRODUCCIÓN

Una vez que en los capítulos anteriores se ha establecido el procedimiento de clasificación del tráfico de proyecto y el catálogo de explanadas mejoradas, en este capítulo se presenta el catálogo general de secciones de firme recomendadas para cada combinación de los dos factores anteriores.

Este catálogo general es aplicable para los tramos de nueva construcción en la Red Autonómica Aragonesa, incluyendo en ellos los firmes nuevos en obras de acondicionamiento y mejora.

Siguiendo al catálogo y para los diferentes materiales utilizados en las secciones en él propuestas, se dan una serie de especificaciones técnicas que modifican y complementan las del PG-3 adaptándolo a las condiciones específicas de la Red Autonómica Aragonesa.

En otros apartados específicos, se recomiendan secciones para arcenes y pavimentos especiales.

CATÁLOGO GENERAL DE SECCIONES DE FIRME

El catálogo de secciones de firme que de acuerdo con estas *Recomendaciones* se recomienda utilizar se presenta en la figura 7.1. En él las secciones de firme están organizadas de manera que, para cada combinación de valores de categoría de tráfico pesado y de categoría de explanada mejorada, se definen tres tipos de firme y, para cada uno de ellos, los materiales y espesores recomendados.

Únicamente se contemplan las categorías de tráfico pesado T1 e inferiores. No obstante, si hubiese que proyectar firmes para categorías de tráfico superiores a T1 se hará de acuerdo con la Norma 6.1-IC "Secciones de firme" del Ministerio de Fomento que se encuentre vigente.

Para cada conjunto de categoría de tráfico/explanada, el catálogo incluye tres secciones de firme distintas:

- mezclas bituminosas (MB) y capas granulares (ZA)
- mezclas bituminosas (MB) y una capa de suelocemento (SC)
- pavimento de hormigón (HF) apoyado, dependiendo de la categoría de tráfico, sobre hormigón magro vibrado (HM), capa granular (ZA) o bien directamente sobre la Explanada Mejorada.

Las tres secciones son adecuadas para los tráfico y explanadas considerados, pero al ser su funcionamiento diferente, y como se ven afectadas también de manera distinta por el incremento de cargas, la aplicación de los factores de seguridad hace que no sean estrictamente equivalentes y que presenten diferencias en cuanto al número de ejes que pueden soportar, así como en su comportamiento ante las desviaciones de espesores, materiales, sobrecargas de tráfico o condiciones del apoyo. También difieren en las necesidades de mantenimiento. El proyectista seleccionará entre las distintas secciones justificando en cada caso la que considere más adecuada de acuerdo a consideraciones técnicas, económicas, constructivas y ambientales.

Se admiten también secciones de firme con base de gravacemento pero, en el caso de utilizarse, se deberán proyectar siguiendo la Norma 6.1-IC que se encuentre vigente.

Los espesores, que en la figura se indican en centímetros, son los mínimos en cualquier punto de la sección transversal.

ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

Los materiales utilizados en las capas del firme deberán cumplir las especificaciones del PG-3 y la Norma 6.1 IC, con las modificaciones que para cada caso se describen a continuación.

A. SECCIONES CON MEZCLA BITUMINOSA Y CAPAS GRANULARES

MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

En la selección del ligante bituminoso y en la relación entre la dosificación en masa del polvo mineral y el betún se aplicaran las prescripciones y recomendaciones definidas en el PG-3 teniendo en cuenta las zonas térmicas estivales dadas en el capítulo 6. Si con el polvo mineral natural de los áridos la resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta tras inmersión de las probetas de mezcla bituminosa según la Norma UNE-EN 12697-12, cumple con los valores exigidos en el PG-3 no será de aplicación la exigencia de polvo mineral de aportación para ninguna de las categorías de tráfico.

Serán de utilización todas las mezclas bituminosas en caliente incluidas en los artículos 542 y 543 del PG-3, que deberán cumplir las prescripciones señaladas en dichos artículos y las condiciones de la Norma 6.1 IC, con las modificaciones que se señalan a continuación. En estas modificaciones los contenidos mínimos de ligante se refieren a densidades de áridos de 2,65 g/cm³. Para otras densidades debe emplearse la corrección incluida en los artículos 542 y 543 del PG-3.

FIGURA 7.1 CATÁLOGO DE SECCIONES PARA FIRMES DE NUEVA CONSTRUCCIÓN (Espesores de las capas en cm)

RED AUTONÓMICA ARAGONESA	SUBCATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T1	T2a	T2b	T2c	
CATEGORÍA DE LA EXPLANADA MEJORADA	EX1 (BAJA)	MB 30 ZA 40 MB 20 SC 30	MB 24 ZA 40 MB 18 SC 30	MB 22 ZA 40 MB 17 SC 30	MB 22 ZA 30 MB 16 SC 30
	EX2 (MEDIA)	MB 28 ZA 25 MB 20 SC 25	MB 22 ZA 25 MB 18 SC 25	MB 20 ZA 25 MB 17 SC 25	MB 18 ZA 25 MB 16 SC 25
	EX3 (ALTA)	MB 28 MB 18 SC 22	MB 22 MB 15 SC 22	MB 20 MB 14 SC 22	MB 20 MB 13 SC 22

MB: Mezcla bituminosa

SC: Suelocemento

ZA: Zahorra artificial

FIGURA 7.1 CATÁLOGO DE SECCIONES PARA FIRMES DE NUEVA CONSTRUCCIÓN - CONTINUACIÓN
(Espesores de las capas en cm)

RED AUTONÓMICA ARAGONESA	SUBCATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
	T3a	T3b	T3c	T4a
CATEGORÍA DE LA EXPLANADA MEJORADA	EX1 (BAJA)			
	EX2 (MEDIA)			
	EX3 (ALTA)			
MB: Mezcla bituminosa				SC: Suelocemento
				ZA: Zahorra artificial

CATÁLOGO DE SECCIONES PARA FIRMES DE NUEVA CONSTRUCCIÓN CON PAVIMENTOS DE HORMIGÓN
(Espesores de las capas en cm)

RED AUTONÓMICA ARAGONESA	SUBCATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO								
	T1	T2a	T2b	T2c	T3a	T3b	T3c	T4a	T4b
EX1 (BAJA)	HF25 HM15 ZA15	HF23 HM15 ZA15	HF23 HM15 ZA15	HF23 HM15 ZA15	HF21 ZA30	HF21 ZA25	HF21 ZA20	HF20 ZA20	HF18 ZA20
EX2 (MEDIA)	HF25 HM15	HF23 HM15	HF23 HM15	HF23 HM15	HF21 ZA25	HF21 ZA20	HF21	HF20	HF18
EX3 (ALTA)	HF25 HM15	HF23 HM15	HF23 HM15	HF23 HM15	HF21 ZA20	HF21 ZA15	HF21	HF20	HF18
CATEGORÍA DE LA EXPLANADA MEJORADA									
HF : Hormigón de firme HM : Hormigón magro vibrado ZA : Zahorra artificial									

En Capas de Rodadura

Se podrán emplear mezclas bituminosas AC surf de tipo semidenso (S) y denso (D), BBTM de tipo A y B y drenantes PA, con las limitaciones que se definen en los párrafos siguientes y en la Tabla 7.1.

Las mezclas AC surf D serán de aplicación únicamente en la categoría de tráfico T4b y en altitudes superiores a los 1200 m o en zonas de frecuentes nevadas para todo tipo de tráfico. En las zonas altas o de nieve no se admite el empleo de mezclas BBTM o PA.

En capas de rodadura no se admite el empleo de mezclas bituminosas con material reciclado de antiguas mezclas bituminosas.

En las glorietas no se emplearán mezclas PA o BBTM de tipo B. Las mezclas bituminosas que se utilicen en las glorietas se proyectarán siempre con ligante modificado.

Cuando la capa de rodadura se extienda en rampas con pendientes superiores al 5% en cualquier longitud, o superiores al 3% si su longitud es mayor de 500 m, deberán emplearse betunes modificados BM-2, BM-3b ó BM-3c, o betunes de penetración del tipo B 40/50.

En la primera capa bajo la rodadura

En la capa situada inmediatamente bajo la rodadura se emplearán mezclas bituminosas AC bin de tipo semidenso o de alto módulo.

En estas capas se admiten mezclas bituminosas con material reciclado de antiguas mezclas bituminosas, hasta un porcentaje de material reciclado del 15 % respecto al total, excepto en el caso de las mezclas de alto módulo en el que no se admite material reciclado.

También se podrán utilizar las mezclas de alto módulo (MAM), en espesores mínimos de 6 cm. Para tráficos T2a y superiores si se utilizan mezclas de alto módulo en las capas de base e intermedia se podrá reducir el espesor total de mezclas bituminosas dado en el catálogo según el criterio definido en el siguiente apartado.

Las mezclas AC bin tendrán un contenido mínimo de betún de 4,0%, y las

de alto módulo de 5,2, ambos referidos al total de la mezcla bituminosa.

Cuando la mezcla bituminosa se extienda en rampas con pendientes superiores al 5%, o al 3% si su longitud es mayor de 500 m, deberán emplearse betunes de penetración del tipo B 40/50 ó BM-2.

En la segunda capa bajo la rodadura y siguientes

En el caso de que el firme tenga más de una capa bajo la rodadura, se utilizará para tercera capa o para las inferiores mezclas AC base de tipo semidenso con un contenido de ligante superior al 4,0 % en masa sobre mezcla.

También podrán emplearse mezclas de tipo AC base de tipo grueso, con los contenidos mínimos de betún definidos en el PG-3, pero en este caso se deberán aumentar los espesores de la capa en 2 cm respecto al que figura en el catálogo.

Con tráficos T2 y superiores se pueden emplear mezclas bituminosas de alto módulo en las capas inferiores a la de rodadura. En este caso podrá disminuirse el espesor conjunto de la mezcla bituminosa en capa de base e intermedia, en su caso, a las que sustituyan las de alto módulo hasta en un 20% con respecto al indicado en las secciones del catálogo. Si se justifica adecuadamente que las características de la mezcla de alto módulo permiten una reducción mayor, se podrían admitir disminuciones de espesor de hasta el 25%. El espesor mínimo de las capas de alto módulo será de 6 cm, y su contenido de ligante será superior a 5,2% sobre mezcla. Si lo permiten los espesores se dispondrá la totalidad de la mezcla MAM de capa de base en una única tongada.

Se admite el empleo de mezclas bituminosas con material reciclado de antiguas mezclas bituminosas hasta un porcentaje de material reciclado del 30 % respecto al total, excepto en el caso de las mezclas de alto módulo en el que no se admite material reciclado.

TABLA 7.1 ESPESOR y tipos de mezclas DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE EN SECCIONES CON MEZCLA BITUMINOSA Y CAPAS GRANULARES

(Espesores de las capas en cm)

CAPA	ESPESOR	TIPO DE MEZCLA			
Rodadura		T2	T3	T4a	T4b
	3cm	BBTM A, BBTM B			X
	4 cm	PA			X
	4-5 cm	X	AC16 surf S, AC16 surf D (*)		AC16 surf D
	6 cm	AC22 surf S, AC22 surf D (*)			X
Primera bajo rodadura	5-10	AC22 bin S AC22 bin S MAM (≥6 cm)		AC 22 bin S	X
	7-10	AC22 bin S, AC32 bin S AC22 bin S MAM (≥6 cm)		X	X
Segunda bajo rodadura y siguientes	5-15	AC 22 base S (***) AC22 base G AC22 base S MAM (**)		X	X
	7-15	AC 22 base S (***) AC 32 base S, AC22 base G AC32 base G, AC22 base S MAM (**)		X	X

(*) Para alturas superiores a 1200 metros.

(**) Se puede disminuir el 20 % de espesor del conjunto de las capas intermedia y base cuando ambas sean MAM. Si lo permiten los espesores se dispondrá una única capa base MAM.

(***) Se podrá utilizar en esta misma aplicación una mezcla tipo AC22 bin S

MEZCLAS BITUMINOSAS EN FRÍO

Con tráficos T3b e inferiores se podrán utilizar mezclas bituminosas en frío, con los mismos espesores totales que se fijan en el catálogo para las mezclas bituminosas en caliente.

En Capas de Rodadura

Las mezclas abiertas en frío (AF) sólo se podrán utilizar como capa de rodadura con tráficos T4a ó T4b. En este caso las mezclas deberán cumplir las especificaciones del Anejo 1 y se dispondrán en espesores de 4 a 6 cm. Se deberán sellar tras un período de curado mínimo de 1 mes mediante la aplicación de una lechada bituminosa tipo LB3 ó LB4 que cumpla con el art. 540 del PG-3. También podrán sellarse con un riego de arena.

Las lechadas bituminosas se podrán utilizar como capa de rodadura sobre gravaemulsión para tráficos T4a. En este caso, se utilizarán los tipos LB1 ó LB2 (art. 540 del PG-3).

En Capas inferiores a la de rodadura

Con tráficos tipo T4a, además de la mezcla abierta en frío se podrá utilizar gravaemulsión (GEA-1), que cumpla con las especificaciones del Anejo 2 y tenga un contenido mínimo de betún residual del 3,3% sobre mezcla.

Tras la ejecución de cada tongada y antes de ejecutar la capa superior, se deberá esperar un período de maduración hasta que el contenido de agua residual en el material sea inferior a 1%.

TABLA 7.2 ESPESOR DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN FRÍO EN SECCIONES CON MEZCLA BITUMINOSA Y CAPAS GRANULARES

(Espesores de las capas en cm)

CAPA	MATERIAL	T4a	T4b
Rodadura	AF	4-6	>4
Inferiores	AF	4-6	X
	GEA-1	>5	X

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES CON GRAVILLA

Únicamente se admite el empleo de tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla en calzadas y arcenes de carreteras con tráficos T4a y T4b, debiendo en estos casos utilizarse riegos de tipo bicapa o tricapa sobre zahorras artificiales.

ZAHORRA ARTIFICIAL

Se utilizarán zahorras de los tipos ZA25 o ZA20, según el artículo 510 del PG-3.

B. SECCIONES CON MEZCLA BITUMINOSA Y SUELOCEMENTO

MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

En la selección del ligante bituminoso y en la relación entre la dosificación en masa del polvo mineral y el betún se aplicaran las prescripciones y recomendaciones definidas en el PG-3 teniendo en cuenta las zonas térmicas estivales dadas en el capítulo 6. Si con el polvo mineral natural de los áridos la resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta tras

inmersión de las probetas de mezcla bituminosa según la Norma UNE-EN 12697-12, cumple con los valores exigidos en el PG-3 no será de aplicación la exigencia de polvo mineral de aportación para ninguna de las categorías de tráfico.

Serán de utilización todas las mezclas bituminosas en caliente incluidas en los artículos 542 y 543 del PG-3, que deberán cumplir las prescripciones señaladas en dichos artículos y las condiciones de la Norma 6.1 IC, con las modificaciones que se señalan a continuación. En estas modificaciones los contenidos mínimos de ligante se refieren a densidades de áridos de 2,65 g/cm³. Para otras densidades debe emplearse la corrección incluida en los artículos 542 y 543 del PG-3.

En Capas de Rodadura

Se podrán emplear mezclas bituminosas AC surf de tipo semidenso (S) y denso (D) y BBTM de tipo A, con las limitaciones que se definen en los párrafos siguientes y en la Tabla 7.3.

Las mezclas AC surf D serán de aplicación únicamente en la categoría de tráfico T4b y en altitudes superiores a los 1200 m o en zonas de frecuentes nevadas para todo tipo de tráfico. En las zonas altas o de nieve no se admite el empleo de mezclas BBTM.

En capas de rodadura no se admite el empleo de mezclas bituminosas con material reciclado de antiguas mezclas bituminosas.

Las mezclas bituminosas que se utilicen en las glorietas se proyectarán siempre con ligante modificado.

Para tráficos T3a y superiores, cuando la capa de rodadura se extienda en rampas con pendientes superiores al 5% en cualquier longitud, o superiores al 3% si su longitud es mayor de 500 m, deberán emplearse betunes modificados BM-2, BM-3b ó BM-3c, o betunes de penetración del tipo B 40/50.

En la primera capa bajo la rodadura

En la capa situada inmediatamente bajo la rodadura se emplearán mezclas bituminosas AC bin de tipo semidenso con un contenido mínimo de betún de 4,3% sobre mezcla o mezclas de alto módulo.

En estas capas se admiten mezclas bituminosas con material reciclado de antiguas mezclas bituminosas, hasta un porcentaje de material reciclado del 15% respecto al total, excepto en el caso de las mezclas de alto módulo en el que no se admite material reciclado.

Para tráficos T3a y superiores, cuando la mezcla bituminosa se extienda en rampas con pendientes superiores al 5%, o al 3% si su longitud es mayor de 500 m, deberán emplearse betunes de penetración del tipo B 40/50 ó BM-2.

En la segunda capa bajo la rodadura y siguientes

En el caso de que el firme tenga más de una capa bajo la rodadura, se utilizará para la tercera capa o para las inferiores mezclas AC base de tipo semidenso con un contenido de ligante superior al 4,3 % en masa sobre mezcla o mezclas de alto módulo.

Se admite el empleo de mezclas bituminosas con material reciclado de antiguas mezclas bituminosas hasta un porcentaje de material reciclado del 30% respecto al total, excepto en el caso de las mezclas de alto módulo en el que no se admite material reciclado.

TABLA 7.3 ESPESOR DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE EN SECCIONES CON MEZCLA BITUMINOSA Y SUELOCEMENTO

CAPA	ESPESOR	TIPO DE MEZCLA			
Rodadura		T2	T3	T4a	T4b
	3 cm	BBTM A			X
	4-5 cm	X	AC16 surf S, AC16 surf D (*)		AC16 surf D
	6 cm	AC22 surf S, AC22 surf D (*)			X
Primera bajo rodadura	5-10	AC22 bin S			X
	7-10	AC22 bin S, AC32 bin S			X
Segunda bajo rodadura	5-15	AC 22 base S (**) AC 32 base s	X	X	X
	7-15	AC 22 base S (**) AC 32 base s	X	X	X

(*) Para altitudes mayores de 1200 metros.

(**) Se podrá utilizar en esta misma aplicación una mezcla tipo AC22 bin S

MEZCLAS BITUMINOSAS EN FRÍO

Con tráficos T4a ó T4b se podrán utilizar mezclas bituminosas en frío, con los mismos espesores totales que se fijan en el catálogo para las mezclas bituminosas en caliente.

En Capas de Rodadura

Las mezclas abiertas en frío (AF) sólo se podrán utilizar como capa de rodadura con tráficos T4a ó T4b. En este caso las mezclas deberán cumplir las especificaciones del Pliego de Mezclas Bituminosas Abiertas en Frío, elaborado por la Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB), que se adjunta como Anexo 1, y se dispondrán en espesores de 4 a 6 cm. Se deberán sellar tras el correspondiente período de curado mediante la aplicación de una lechada bituminosa tipo LB3 ó LB4 que cumpla con el art. 540 del PG-3.

Las lechadas bituminosas se podrán utilizar como capa de rodadura sobre grava-emulsión para tráficos T4a. En este caso, se utilizarán los tipos LB1 ó LB2 (art. 540 del PG-3).

En Capas bajo Rodadura

Con tráficos tipo T4a se podrá utilizar grava-emulsión (GEA-1), que cumpla con las especificaciones del Pliego de Grava-emulsión, elaborado por la Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB), que se adjunta como Anexo 2, y tenga un contenido mínimo de betún residual del 3,3% sobre mezcla

Tras la ejecución de cada tongada y antes de ejecutar la capa superior, se deberá esperar un período de maduración hasta que el contenido de agua residual en el material sea inferior a 1%.

TABLA 7.4 ESPESOR DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN FRÍO EN SECCIONES CON MEZCLA BITUMINOSA Y SUELOCEMENTO

(Espesores de las capas en cm)

CAPA	MATERIAL	T4a	T4b
Rodadura	AF	4-5	>4
Inferiores	AF	5-6	X
	GEA-1	5-6	X

SUELOCEMENTO

El suelocemento podrá ser de los tipos SC40 y SC20 definidos en el artículo 513 del PG-3 para todo tipo de tráfico. No se podrá utilizar material granular cuyo contenido de sulfatos expresados en S03 sea superior a 0,5 %. Si el contenido de sulfatos es superior a 0,1 % deberán emplearse cementos resistentes a los sulfatos

Con tráficos T2c y superiores el suelocemento se fabricará en central. Con tráficos inferiores a T3a el Director de las Obras podrá autorizar la fabricación in situ. En este caso, el espesor del suelocemento que figura en el catálogo deberá aumentarse en 5 cm sin que el aumento de espesor se traduzca en un sobre coste de la obra. A estos efectos, en los cuadros de precios del proyecto se deben contemplar ambos supuestos.

El suelocemento se deberá prefisurar en fresco, con una distancia entre juntas de 3 m de acuerdo con las situaciones que se indican en la Tabla 7.5.

TABLA 7.5 CONDICIONANTES PARA LA PREFISURACIÓN DE CAPAS DE SUELOCEMENTO COLOCADAS DIRECTAMENTE BAJO MEZCLA BITUMINOSA

TRÁFICO	RCS7 < 4,5 MPa	RCS7 ≥ 4,5 MPa
ALTO (≥ T3a)	Obligatorio ⁽¹⁾	Obligatorio
BAJO (≤ T3a)	Recomendable	

RCS7: Resistencia compresión simple a 7 días del material tratado con cemento.

(1) No obligatorio, pero recomendable, si el espesor de MB ≥ 18 cm.

C. SECCIONES CON PAVIMENTO DE HORMIGÓN

La nomenclatura especial adoptada para los hormigones empleados en los pavimentos de hormigón corresponde a Hormigón de Firme (HF), seguida del valor de la resistencia característica a flexotracción a los 28 días expresada en megapascuales (MPa). Estos hormigones deberán cumplir las especificaciones fijadas en el artículo 550 del PG-3.

Para firmes de carreteras con categorías de tráfico pesado T1 y T2 (T2a, T2b y T2c) se utilizará hormigón tipo HF-4,5. Para dichas categorías podrá emplearse también HF-4,0 incrementando en 2 cm los espesores indicados por el Catálogo de secciones de firme.

Para firmes de carreteras con categoría de tráfico pesado T1 y T2 (T2a, T2b y T2c) el pavimento será de hormigón en masa, con juntas transversales sin pasadores y limitando la separación entre las mismas a un máximo de 4 m en obras en zona térmica estival templada y a 3,5 m en las zonas donde las oscilaciones diarias de la temperatura ambiente puedan llegar a ser superiores a 20 °C o bien en obras no situadas en una zona térmica estival templada. Podrán también disponerse juntas con pasadores, disminuyendo los espesores establecidos en el Catálogo en 2 cm Si se justificase su conveniencia por razones técnicas o económicas, para firmes de carreteras con categoría de tráfico pesado T1 podrá también emplearse pavimento continuo de hormigón armado, permitiendo una reducción de hasta 4 cm en el espesor establecido en el Catálogo de secciones de firme en el caso de juntas sin pasadores.

Para los firmes de carretera con categoría de tráfico pesado T3 (T3a, T3b y T3c) y T4 (T4a y T4b) o eventualmente en arcenes, el pavimento será de hormigón en masa, con juntas sin pasadores. Para estas categorías de tráfico pesado se utilizará hormigón tipo HF-4,0, aunque también podrá utilizarse el HF-3,5 incrementando en 2 cm los espesores dados por el Catálogo de secciones de firme.

La cuantía geométrica del pavimento continuo de hormigón armado será del 0,7% para HF-4,5 y del 0,6% para HF-4,0. Asimismo en este tipo de pavimentos se dispondrán anclajes al terreno en las secciones extremas, así como en las secciones especiales que lo requieran.

En el caso de utilizarse bajo el pavimento de hormigón una subbase de hormigón magro vibrado, se seguirán en este último las prescripciones del artículo 551 del PG-3, con la excepción de que se exigirá una resistencia media a compresión simple, determinada de acuerdo con la Norma UNE-EN 12390-3, igual o superior a 8 MPa a 7 días.

JUNTAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Se dispondrán juntas longitudinales en los pavimentos de hormigón, que podrán ser de alabeo o de hormigonado.

En las zonas en las que la anchura de hormigonado sea superior a 5 m se proyectarán juntas longitudinales de alabeo, dividiendo el pavimento en franjas aproximadamente iguales, procurando que coincidan sensiblemente con las separaciones entre los carriles de circulación y evitando que lo hagan con las zonas de rodadura del tráfico, con una marca vial o con un pasador. Se ejecutarán por aserrado, con una profundidad de corte no inferior al tercio del espesor de la losa.

Donde la construcción del pavimento se realice por franjas se proyectarán juntas longitudinales de hormigonado, procurando que coincidan sensiblemente con las separaciones entre carriles de circulación y evitando que lo hagan con las zonas de rodadura del tráfico o con una marca vial.

Para las categorías de tráfico T1 y T2 se proyectarán perpendicularmente a la junta longitudinal, barras corrugadas de unión de 12 mm de diámetro, 80 cm de longitud y espaciadas 1 m. Se dispondrán a la mitad del espesor de la losa y simétricas respecto de la junta.

En el proyecto de las juntas longitudinales, tanto de alabeo como de hormigonado, se especificará su sellado según los siguientes procedimientos:

- practicando un cajeadado en el que se introducirá un cordón sintético, sobre el que se colocará un producto específico de sellado. De acuerdo con el tipo de producto de sellado que se emplee, éste deberá cumplir las prescripciones de la Norma UNE-EN 14188-1 (productos aplicados en caliente) o UNE-EN 14188-2 (productos de sellado aplicados en frío)
- mediante un perfil elastomérico, introducido a presión, deberá cumplir las prescripciones de la Norma UNE-EN 14188-3.

Las juntas transversales que se proyecten en los pavimentos de hormigón podrán ser de contracción, de hormigonado o de dilatación.

Las juntas transversales de contracción se realizarán por aserrado, con una anchura de corte no superior a 4 mm, y profundidad no inferior al cuarto del espesor de la losa.

Las juntas transversales de contracción sin pasadores se dispondrán a una distancia no superior a 4 m, la cual se reducirá hasta 3,5 m en las zonas donde las oscilaciones diarias de la temperatura ambiente puedan llegar a ser superiores a 20 °C o bien en obras no situadas en una zona térmica estival templada. Salvo justificación en contrario, se proyectarán sesgadas, con una inclinación respecto al eje de la calzada de 6:1, de forma que las ruedas de la izquierda de cada eje las atravesasen antes que las de la derecha.

Para las categorías de tráfico pesado T1 y T2 las juntas transversales de contracción podrán proyectarse provistas de pasadores (a la mitad del espesor de la losa, perpendiculares a la junta y simétricos respecto a ella) de acero liso de 25 mm de diámetro, 50 cm de longitud y separación variable, de 30 cm bajo las rodadas del carril de proyecto y de 60 cm en

otras zonas. Dichos pasadores cumplirán con las prescripciones de la Norma UNE-EN 13877-3 e irán provistos de una funda de plástico antiadherente al menos en la mitad de su longitud en zonas donde no se utilicen sales fundentes, y en la totalidad de la misma si emplean sales. Las juntas con pasadores se dispondrán perpendiculares al eje de la calzada e irán separadas entre sí una longitud comprendida entre 4 y 5 m.

Las juntas transversales de hormigonado, que se harán coincidir con el emplazamiento de una junta de contracción, irán siempre provistas de pasadores, siendo por ello perpendiculares al eje de la calzada. En pavimentos de hormigón armado continuo el diseño de estas juntas se realizará en la fase de proyecto.

Se proyectarán juntas transversales de dilatación ante estructuras o donde pudiera estar especialmente impedido el movimiento de las losas del pavimento. En estos casos en la fase de proyecto se estudiará el diseño específico de dichas juntas.

En las curvas con radio inferior a 200 m será precisa la realización de un estudio especial sobre la disposición de juntas transversales de contracción o de dilatación, con el fin de limitar las posibles tensiones que pudieran producirse por el efecto de las temperaturas. A falta de dicho estudio, en la mayoría de los casos podrá ser suficiente con la disposición de juntas de dilatación al comienzo y al final de la curva, manteniendo la longitud de las losas adoptada para el conjunto de la obra.

Respecto al sellado de las juntas transversales, tanto de contracción como de hormigonado, según la zona pluviométrica, se proyectará de acuerdo con el siguiente criterio:

- zona pluviométrica lluviosa: selladas como las juntas longitudinales
- zona pluviométrica seca: podrán dejarse sin sellar.

UTILIZACIÓN DE RESIDUOS

En todas las unidades de obra incluidas en estas recomendaciones se utilizarán preferentemente materiales reciclados, siempre que su empleo sea técnica y económicamente adecuado. En especial se tendrán en cuenta los siguientes materiales:

- Se podrán incorporar a mezclas bituminosas en caliente el material fresado de mezclas antiguas salvo en el caso de mezclas

bituminosas para capas de rodadura en el que no se admite material de fresado en ninguna proporción. Tampoco se admite la incorporación de material fresado en mezclas de alto módulo. En todas las demás unidades de obra se podrán superar los límites máximos definidos en este documento siempre que el Director de la Obra lo autorice y se demuestre la validez técnica en tramo de prueba.

- En obras de acondicionamiento y reconstrucción se proyectará, preferentemente, el tratamiento de reciclado "in situ" con cemento, de acuerdo con el apartado correspondiente de estas recomendaciones. Cuando se comparen varias soluciones se deberá contemplar la alternativa del reciclado in situ con emulsión.
- Siempre que en proyecto se tenga en cuenta la generación de residuos por demolición total o parcial de la propia carretera se hará un análisis de las posibilidades de aprovechamiento en la obra proyectada y cuando sea técnica y económicamente conveniente se preverá su reutilización.
- Se admite la utilización de áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico siempre que cumplan los requisitos del artículo correspondiente del PG-3 y se demuestre su estabilidad volumétrica.
- Para tráfico T2 e inferiores, y en capas granulares o de suelocemento, se podrán utilizar áridos procedentes de demoliciones de hormigón, según lo especificado en el PG-3 y siempre que su contenido en impurezas, consideradas como aquellos elementos que no sean fragmentos de hormigón, sea igual o inferior al 10% del total y que no contengan contaminantes para el medio ambiente o para las obras.
- En capas de rodadura y primera capa bajo rodadura se podrá utilizar polvo de neumáticos fuera de uso, de acuerdo con lo establecido en la normativa del Ministerio de Fomento.
- En pavimentos de hormigón contruidos en dos capas se podrán utilizar en la inferior áridos procedentes de demoliciones de hormigón, según lo especificado en el PG-3 y siempre que su contenido en impurezas, consideradas como aquellos elementos que no sean fragmentos de hormigón, sea igual o inferior al 10% del total y que no contengan contaminantes para el medio

ambiente o para las obras. Podrán emplearse también áridos procedentes de la disgregación, por fresado o trituración, de capas de mezcla bituminosa.

FIRMES PARA ARCENES

Cuando la capa superior del firme de la calzada sea de mezcla bituminosa, el firme de los arcenes de anchura superior a un metro se dimensionará de acuerdo con la Tabla 7.6 o, alternativamente, con el mismo firme que la calzada adyacente.

Los arcenes de anchura inferior o igual a un metro tendrán siempre el mismo firme de la calzada.

TABLA 7.6 SECCIONES DE FIRME EN ARCENES

CATEGORÍA DE TRÁFICO	SECCIÓN EN ARCÉN
	PAVIMENTO
T1 – T2b	Espesor total ≥ 10 cm Prolongación de las capas de rodadura e intermedia de la calzada
T2c – T3b	Prolongación de la capa de rodadura de la calzada ⁽¹⁾
T3c – T4b	Prolongar la capa de rodadura de la calzada, o bien el riego con gravilla o dejar sin pavimentar ⁽²⁾

Bajo el pavimento se dispondrán zahorras hasta alcanzar el plano de explanada.

(1) Si la capa de rodadura de la calzada es drenante o discontinua en caliente, además de esta última, se prolongará sobre el arcén la capa intermedia del firme de la calzada.

(2) Si no se pavimenta el arcén, la zahorra debe presentar un índice de plasticidad comprendido entre 6 y 10, y la superficie deberá quedar 1-2 cm por debajo de la calzada.

Cuando se utilice pavimento de hormigón en la categoría de tráfico pesado T1, los arcenes podrán pavimentarse con hormigón en masa, con hormigón magro vibrado o con mezcla bituminosa. En el primer caso, el pavimento del arcén será de hormigón en masa, de idénticas características que el utilizado en la calzada. El pavimento del arcén irá atado al de la calzada mediante barras de unión de 12 mm de diámetro y 80 cm de longitud, situadas a la mitad del espesor, perpendiculares a la junta longitudinal y espaciadas 1 m. Se dispondrán juntas transversales de contracción en prolongación de las de la calzada. Salvo justificación en contrario, la textura superficial del arcén será transversal.

El pavimento de los arcenes de hormigón en masa tendrá un espesor mínimo de 15 cm, salvo en sus 50 cm interiores en los que su espesor deberá coincidir, en todo caso, con el correspondiente al de la calzada. Hasta alcanzar la explanada se dispondrá una zavorra artificial drenante (artículo 510 del PG-3).

Alternativamente, se podrá pavimentar el arcén con hormigón magro vibrado (artículo 551 del PG-3) de espesor uniforme, igual al del pavimento de la calzada, con juntas transversales de contracción en prolongación de las de este último y atado al mismo mediante barras de unión de 12 mm de diámetro y 80 cm de longitud, situadas a la mitad del espesor, perpendiculares a la junta longitudinal y espaciadas 1 m; hasta alcanzar la explanada se dispondrá una zavorra artificial drenante, un suelocemento (artículo 513 del PG-3) o un hormigón magro vibrado, que podrá extenderse conjuntamente con el de la capa superior del arcén. Salvo justificación en contrario, la textura superficial del hormigón magro del arcén será transversal

Si para la categoría de tráfico pesado T1 se dispone un arcén de mezcla bituminosa en caliente, ésta será de 15 cm de espesor total, construida en dos capas; bajo ella, y hasta alcanzar la explanada, se dispondrá una zavorra artificial drenante. Alternativamente, la mezcla bituminosa en caliente podrá tener 10 cm de espesor total, disponiendo bajo ella, hasta alcanzar la explanada, un suelocemento (que deberá prefisurarse con un espaciado de 3 m), siempre que el espesor del mismo no sea inferior a 15 cm en ningún punto.

La junta entre el pavimento de hormigón de la calzada y el del arcén deberá sellarse siempre.

Para las categorías de tráfico pesado T2 y T31 se dispondrá un arcén formado por una capa de rodadura de mezcla bituminosa en caliente muy flexible de 5 cm de espesor; el resto, hasta llegar a la explanada, se completará con zavorra artificial drenante. Alternativamente, se podrá disponer bajo la mezcla bituminosa en caliente una capa de suelocemento prefisurado cada 3 m, siempre que su espesor en cualquier punto esté comprendido entre 15 y 30 cm; el resto, hasta llegar a la explanada, se completará con zavorra artificial drenante. El suelocemento podrá sustituirse por un suelo seleccionado o adecuado estabilizado in situ con cemento tipo S-EST3 (artículo 512 del PG-3), con una resistencia a compresión simple a 7 días no inferior a 2,5 MPa y prefisurado cada 3 m.

Para las restantes categorías de tráfico, en el caso de que la calzada tenga un pavimento de hormigón, el arcén, enrasado siempre con la calzada,

podrá no estar pavimentado, o tener un pavimento constituido por un riego con gravilla. El firme del arcén estará constituido por zahorra artificial, procurando enrasar con una de las capas del firme de la calzada; y el resto, hasta la explanada, podrá ser de zahorra artificial o de suelo seleccionado. Si no se pavimentase se proyectarán arcenes con zahorras cuyos finos tengan un índice de plasticidad (IP) entre 6 y 10.

La junta entre el pavimento de la calzada y el del arcén deberá sellarse siempre que el tramo esté incluido en una zona pluviométrica lluviosa.

BERMAS

Las bermas se proyectarán de manera que en todo el espesor del firme estén formados por suelo seleccionado o materiales de mejor calidad, compactados y nivelados adecuadamente. La superficie irá protegida contra la erosión superficial, disponiendo para ello una cubierta vegetal, o una capa de grava o zahorra.

Si sobre la berma se va a colocar una barrera de seguridad de hormigón se dispondrá sobre el suelo seleccionado una capa de 20 cm de espesor de hormigón, zahorra artificial o capa estabilizada con cemento.

FIRMES PARA OBRAS DE PASO

Las secciones de firme a utilizar en obras de paso son las recogidas en la Tabla 7.7.

TABLA 7.7 SECCIONES DE FIRME PARA OBRAS DE PASO
(Espesores en cm)

MATERIALES	T1 y T2	T3 y T4
MEZCLA BITUMINOSA	8 ⁽¹⁾	6 ⁽²⁾

(1) En dos capas, una de rodadura de tipo semidenso (4 cm), discontinuo (3 cm) o drenante (4 cm) y otra inferior de tipo semidenso con características de rodadura. En zonas con riesgos de heladas, no se usarán mezclas drenantes sobre las obras de paso.

(2) Una única capa de tipo semidenso.

Previamente a la colocación del firme, el tablero debe limpiarse

adecuadamente mediante chorro de arena, agua o aire a presión, fresado o decapado mecánico, granallado o cualquier otro método eficaz para el fin pretendido. Además, deben sellarse las fisuras que se aprecien en la superficie.

Posteriormente se debe proceder a regularizar la superficie del tablero, conformar las pendientes y a imprimarse. La regularización puede efectuarse mediante morteros bituminosos o mezclas bituminosas. La imprimación debe aplicarse antes o después de la regularización según ésta se realice con mortero hidráulico o materiales bituminosos. Como imprimación se utilizan pinturas o emulsiones asfálticas, cubriendo totalmente la superficie a proteger.

Una vez realizadas las operaciones anteriores deberá procederse a la impermeabilización mediante alguna de las siguientes técnicas:

1. Másticos bituminosos en frío o en caliente.
2. Láminas formadas por riegos espesos aplicados in situ con ligantes poliméricos, polimérico-bituminosos o hidráulico-poliméricos.
3. Láminas asfálticas prefabricadas.

En pavimentos de puentes sometidos a heladas frecuentes no se podrán utilizar mezclas drenantes.

FIRMES PARA TÚNELES

En túneles cortos, de longitud inferior a 500 metros, no será necesario adoptar una sección especial, pudiendo disponerse el mismo firme que exista en los accesos al túnel. Por el contrario en túneles largos, de longitud superior a 500 m, se proyectarán las secciones de firme en función del tipo de solera y de acuerdo con las siguientes directrices.

Para las **soleras terminadas en suelo** se seguirán los criterios fijados en el catálogo general de secciones de firme, pero teniendo además en cuenta las dos condiciones siguientes:

1. Se utilizarán Explanadas EX3 para cualquier categoría de tráfico.

2. Para categorías de tráficos pesado T1 e inferiores el firme se proyectará para un Tráfico de Proyecto incrementado en dos subcategorías de las 7 indicadas en la Tabla 4.1 (así, por ejemplo, si el tráfico corresponde a un T3a, se dimensionará para T2b).

En terminaciones con zahorra artificial se considerará que cumple las condiciones de las explanas EX3.

En los casos de rocas duras o blandas con tráficos T1 y superiores, debe regularizarse el fondo de la excavación con hormigón, dando a este un sobreespesor sobre las crestas de la excavación de 15 cm con roca dura y sana (Rock Mass rating de Beniaowski RMR > 50), o de 20 cm con roca blanda o alterable ($30 < \text{RMR} < 50$). A la explanada se le dará el tratamiento que se indica para losas de hormigón en masa en la Tabla 7.8.

Alternativamente, con tráficos T2a o inferiores, se regularizará la excavación con zahorra artificial en espesores de 15 cm sobre las crestas para rocas duras y sanas y de 20 cm sobre rocas blandas o alterables. Con estas actuaciones se considerará que la explanada mejorada cumple las condiciones de las explanadas EX3. El firme se proyectará, como en el caso de las terminaciones en suelo, para el tráfico de proyecto incrementado en dos subcategorías.

En los túneles de **contrabóveda con flecha en el centro** se efectuará un relleno con zahorra u hormigón hasta conseguir la cota y geometrías deseadas. Para tráficos T1 sobre la zahorra se colocará una losa de hormigón pobre o gravacemento de 30 cm. de espesor. Con tráficos T2a o inferiores, se admite también la terminación en zahorra artificial y se considerará en este caso que cumple las condiciones de las explanadas EX3 definidas en estas Recomendaciones.

Para las terminaciones en **losa armada o pretensada, o losas de hormigón en masa**, se utilizará la tabla 7.8.

TABLA 7.8 SECCIONES DE FIRME CON MEZCLA BITUMINOSA PARA LOSAS ARMADAS O PRETENSADAS (LA) O LOSAS DE HORMIGÓN EN MASA (LM)
(Espesores en cm)

MATERIALES	T1		T2		T3 Y T4	
	EX _{LM}	EX _{LA} ⁽¹⁾	EX _{LM}	EX _{LA} ⁽¹⁾	EX _{LM}	EX _{LA} ⁽¹⁾
MEZCLA BITUMINOSA	18	13	15	10	12	7

(1) Esta solución exige la impermeabilización de la losa.

En cuanto a las **capas de rodadura** de mezcla bituminosa, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- 1) En túneles de más de 500 m no se utilizarán rodaduras de mezcla drenante.
- 2) Para tráficos T2a y superiores los firmes con rodadura bituminosa se terminarán en una mezcla discontinua tipo BBTM A ó B, con un contenido de huecos inferior al 10%. Con tráficos inferiores se podrán utilizar alternativamente capas de rodadura con mezclas tipo semidensa.
- 3) Si la capa de rodadura en el túnel es distinta a la de los tramos de acceso, se prolongará esta última 50 m dentro del túnel.
- 4) No se podrán utilizar mezclas drenantes

En caso de utilizarse **firmes rígidos**, se seguirán los criterios de dimensionamiento que se dan en la Tabla 7.9.

TABLA 7.9 SECCIONES DE FIRME RÍGIDO
(Espesores en cm)

MATERIALES	T1 ⁽¹⁾		T2 ⁽¹⁾		T3 – T4 ⁽²⁾	
	EX3 y EX _{LM}	EX _{LA}	EX3 y EX _{LM}	EX _{LA}	EX3 y EX _{LM}	EX _{LA}
HORMIGÓN VIBRADO	25	21	23	20	21	20
HORMIGÓN MAGRO ⁽³⁾	15	—	15	—	—	—

(1) El pavimento será de hormigón en masa (HF-4,5), con juntas sin pasadores, o continuo de hormigón armado, en cuyo caso se reducirán 4 cm los espesores señalados. Podrán también disponerse pasadores, en cuyo caso se reducirán 2 cm los espesores señalados

(2) El pavimento será de hormigón en masa (HF-4,0), con juntas sin pasadores.

(3) Con explanadas EXLM no será necesario disponer base de hormigón magro.

FIRMES PARA TRAVESÍAS

En travesías se pueden proyectar las mismas secciones de firme indicadas en el catálogo general de secciones o las secciones alternativas que se presentan en las Tablas 7.10 y 7.11.

TABLA 7.10 SECCIONES DE FIRME SEMIRÍGIDO PARA TRAVESÍAS
(Espesores en cm)

MATERIALES	T1	T2	T3 Y T4
	EX3	EX3	EX3
MEZCLA BITUMINOSA	10	8	6
HORMIGÓN MAGRO	25	25	22

En categorías de explanada mejorada EX2 bajo el hormigón magro se dispondrá una capa de zahorra artificial de 15 cm. Con explanadas EX1 el espesor de la capa de zahorra artificial será de 25 cm. El hormigón magro se proyectará de acuerdo con el artículo 551 del PG-3 y debe prefisurarse transversalmente cada 2,5 a 3 m.

TABLA 7.11 SECCIONES DE FIRME RÍGIDO PARA TRAVESÍAS
(Espesores en cm)

MATERIALES	T1 ⁽¹⁾	T2 ⁽²⁾⁽³⁾	T3 ⁽²⁾⁽⁴⁾	T4 ⁽²⁾⁽⁵⁾
	EX3	EX3	EX3	EX2 y EX3
HORMIGÓN VIBRADO	25	23	21	20

- (1) Pavimento de hormigón en masa (HF-4,5), con juntas sin pasadores.
Podrá utilizarse también hormigón HF-3,5, en cuyo caso se reducirá 2 cm el espesor señalado.
Podrán también disponerse juntas con pasadores, en cuyo caso se reducirá en 2 cm el espesor del pavimento sin pasadores.
En categorías de explanada mejorada EX2, bajo el hormigón vibrado se dispondrá una capa de zahorra artificial de 20 cm o de hormigón magro vibrado de 15 cm.
En categorías de explanada mejorada EX1, bajo el hormigón vibrado se dispondrá una capa de zahorra artificial de 30 cm o de hormigón magro vibrado de 20 cm.
- (2) Pavimento de hormigón en masa (HF-4,0), con juntas sin pasadores.
Podrá utilizarse también hormigón HF-3,5, en cuyo caso se reducirá 2 cm el espesor señalado.
- (3) En categorías de explanada mejorada EX2, bajo el hormigón vibrado se dispondrá una capa de zahorra artificial de 20 cm o de hormigón magro vibrado de 15 cm. En categorías de explanada mejorada EX1, bajo el hormigón vibrado se dispondrá una capa de zahorra artificial de 30 cm o de hormigón magro vibrado de 20 cm.

- (4) En categorías de explanada mejorada EX2, bajo el hormigón vibrado se dispondrá una capa de zahorra artificial de 20 cm o de hormigón magro vibrado de 15 cm.
En categorías de explanada mejorada EX1, bajo el hormigón vibrado se dispondrá una capa de zahorra artificial de 25 cm o de hormigón magro vibrado de 15 cm.
- (5) En categorías de explanada mejorada EX1, bajo el hormigón vibrado se dispondrá una capa de zahorra artificial de 20 cm o de hormigón magro vibrado de 15 cm.

ENSANCHES DE CALZADA

Los ensanches de calzada que no incluyan el acondicionamiento del perfil longitudinal del firme, se proyectarán de acuerdo con el catálogo general de secciones de firme.

En el ensanche la categoría de la explanada mejorada será la misma o superior que la del firme adyacente y se tratará de enrasar ambas superficies de explanada. Se podrá disponer la nueva superficie de explanada más profunda que la antigua, pero nunca más alta.

Cuando, como es habitual, se incluya en el proyecto el refuerzo del firme antiguo, este refuerzo se extenderá en todo el ancho y su espesor se incluirá en el dimensionamiento del firme del ensanche.

Las capas del firme antiguo se deberán cortar verticalmente. Los cortes de cada una de las capas se desplazarán horizontalmente de manera que no se forme una única junta vertical. El corte de la capa superior no debe coincidir con la rodada de los vehículos.

Si el firme antiguo incluye capas muy permeables, como es el caso del macadam, se facilitará, mediante un sistema de drenaje adecuado, la salida del agua que pueda penetrar en el firme.

ACONDICIONAMIENTO Y RECONSTRUCCIÓN

En aquellas correcciones de perfil que por su espesor exijan la construcción de un nuevo firme, se podrá mantener la integridad del firme antiguo o repararlo y compactarlo adecuadamente.

En el primer caso, se reparará ligeramente la superficie, para conseguir una buena adherencia con las capas superiores y se rellenará adecuadamente con zahorra hasta que se alcance una cota que permita disponer alguno de

los firmes contemplados en el Catálogo de la Figura 7.1. La categoría de explanada mejorada que corresponde a la carretera antigua se determinará en función de su deflexión patrón máxima (ver anejo 3 de la Norma 6.3 IC de rehabilitación de firmes), utilizando los valores que se indican en la Tabla 5.5 incluida en el capítulo 5 (Explanadas mejoradas) de estas Recomendaciones.

En este caso se estudiarán de forma específica las condiciones de drenaje del firme en cuanto se refiere a la formación de pendientes y la disposición de elementos de drenaje.

En el segundo caso el firme antiguo se ripará y compactará, nivelando la superficie adecuadamente. La caracterización de la superficie resultante como explanada mejorada se realizará en función de su capacidad de soporte, utilizando para ello el ensayo de carga con placa o la medida de la deflexión patrón, y aplicando los criterios expuestos en el apartado correspondiente del capítulo 5 de estas Recomendaciones.

La reconstrucción total de un firme se proyectará siguiendo los criterios de la Norma 6.3 IC del Ministerio de Fomento complementados con estas Recomendaciones. Se podrá optar por la alternativa de reciclado in situ con cemento, en este caso serán de aplicación los espesores y materiales que se definen en la Figura 7.2 siguiente. Previamente al reciclado deberá hacerse una caracterización detallada mediante sondeos y catas para determinar espesores y calidades del firme a reciclar y, en su caso, del terreno de apoyo. En función de estos ensayos se puede reclasificar la categoría de explanada mediante la correspondiente justificación.

FIGURA 7.2 CATÁLOGO DE SECCIONES PARA REHABILITACIÓN DEL FIRME POR RECICLADO IN SITU CON CEMENTO.
(Espesores de capa en cm)

RED AUTONÓMICA ARAGONESA	SUBCATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
	T1	T2a	T2b	T2c
BAJA CALIDAD (EX1)				

FIGURA 7.2 CATÁLOGO DE SECCIONES PARA REHABILITACIÓN DEL FIRME POR RECICLADO IN SITU CON CEMENTO - CONTINUACIÓN. (Espesores de capa en cm)

RED AUTONÓMICA ARAGONESA		SUBCATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
		T3a	T3b	T3c	T4a T4b
CATEGORÍA DE LA EXPLANADA MEJORADA	BAJA CALIDAD (EX1)				
	CALIDAD MEDIA ALTA (EX2)				

ESTACIONAMIENTO Y PARADA

Las zonas de estacionamiento y parada, para tráficos T1 y T2, se construirán con un firme preferentemente pavimentado mediante losas de hormigón o con adoquines. En el caso de losas de hormigón, estas tendrán los espesores indicados en la Tabla 7.11 para los firmes de travesías; y para el caso de pavimentos con adoquines, se utilizarán las secciones indicadas en la Tabla 7.12.

TABLA 7.12 SECCIONES CON PAVIMENTOS DE ADOQUINES PARA ZONAS DE ESTACIONAMIENTO Y PARADA

TRÁFICO DE PROYECTO	EX1	EX2	EX3
T1 ó T2	Adoquín : 8 cm Arena 2/6 : 3 cm Hormigón Magro: 15 cm Zahorra Artificial: 25 cm	Adoquín: 8 cm Arena 2/6 : 3 cm Hormigón Magro : 15 cm Zahorra Artificial : 20 cm	Adoquín : 8 cm Arena 2/6 : 3 cm Hormigón Magro : 15 cm

Se pueden utilizar también los firmes con rodadura bituminosa contemplados en el catálogo, pero, en este caso, en la capa de rodadura se deberá utilizar un betún de penetración 40/50, un betún modificado BM-2, 3b ó 3c, o una mezcla bituminosa fabricada con un ligante resistente a los combustibles o protegida mediante una lechada o tratamiento superficial con un ligante de este tipo.

FIRMES PARA LECHOS DE FRENADO

Se deberán disponer lechos de frenado en los casos previstos en la Norma 3.1-IC y se diseñarán de acuerdo con la Orden Circular 321/95 "Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de Vehículos" de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

Se utilizará como material de relleno una gravilla rodada suelta, de tamaño 5/10, que estará contenida por muretes laterales y sobre una solera de hormigón de 30 cm de espesor con una inclinación transversal del 2%.

El espesor del material de relleno estará comprendido entre 30 y 45 cm, aumentando progresivamente a medida que se avanza en el lecho, de forma tal que permita el hundimiento progresivo del vehículo y se logre una transición suave en la entrada y una pendiente suficiente para facilitar el drenaje.

COMPARACIÓN DE SECCIONES

En cada proyecto se comparará el coste de construcción de las secciones incluidas en el catálogo (Figura 7.1), siempre que ambas sean técnicamente adecuadas para las condiciones de la obra. Si la diferencia entre estos costes es superior al 15%, se seleccionará la sección más económica. Para diferencias inferiores al 15% se atenderá a consideraciones de tipo constructivo, medioambiental, costes de conservación a largo plazo, etc.

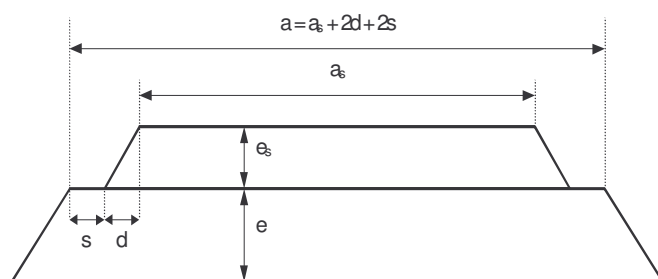
8 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

DISPOSICIÓN TRANSVERSAL

La anchura de la capa situada bajo la rodadura rebasará a la teórica de la calzada, incluido el sobreancho en curva, al menos en 20 cm. por cada borde.

Según se ve en la Figura 8.1, la anchura del firme en la cara superior de cada capa, **a**, será igual a la de la capa inmediatamente superior, **a_s**, más dos veces la suma de los sobreanchos **d** y **s** indicados en la Tabla 8.1.

FIGURA 8.1



El sobreancho se podrá aumentar si existe necesidad de disponer de un apoyo para la extensión de la capa superior.

TABLA 8.1 VALORES DE LOS SOBREANCHOS (cm)

POR DERRAMES (d)	Hormigón		0
	Otros materiales		$e_s/2$
POR CRITERIOS CONSTRUCTIVOS (s)	Bajo hormigón		e_s
	Bajo otros materiales	Mezclas bituminosas	5
		Capas tratadas con conglomerantes hidráulicos	6 a 10
		Capas granulares	10 a 15

La anchura extendida y compactada será siempre igual, o superior, a la teórica y comprenderá las anchuras teóricas de la calzada y/o arcenes más los sobreanchos mínimos fijados en los planos. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares deberá fijar las anchuras máximas y mínimas de extendido, así como la situación de las juntas longitudinales necesarias.

Se eliminarán los excesos laterales sin la compactación adecuada, excepto si forman parte del borde exterior de la plataforma.

9 DEFINICIONES

Arcén.- Franja longitudinal contigua a la calzada, afirmada pero no destinada al uso por vehículos automóviles salvo en circunstancias excepcionales.

Berma.- Franja longitudinal contigua al arcén, si existe, en el borde de la plataforma. Es una zona de seguridad para la circulación y se utiliza para la eventual circulación de peatones y para la ubicación de elementos auxiliares de la carretera.

Calzada.- Zona de la carretera destinada a la circulación. Se compone de un cierto número de carriles.

Capa de rodadura.- Capa superior, o en algunos casos única, de un pavimento de mezcla bituminosa.

Capacidad de una carretera.- Máximo número de vehículos que pueden circular por ella en un determinado período de tiempo, suponiendo que los vehículos circulan con una velocidad uniforme.

Capacidad de soporte.- Aptitud de un suelo, terraplén, desmonte o capa de firme para soportar las cargas del tráfico con deformaciones volumétricas y tensiones dentro de unos límites fijados.

Carril.- Franja longitudinal en que puede estar dividida la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales, y con anchura suficiente para la circulación de una fila de automóviles que no sean motocicletas.

Carril lento.- Carril situado a la derecha del o de los carriles principales destinado a la circulación de vehículos lentos y/o pesados, con objeto de mejorar las condiciones de capacidad de la carretera generalmente en

rampas y zonas urbanas.

Carril de proyecto.- Carril de la calzada que soporta las mayores cargas de tráfico.

Categorías de tráfico pesado.- Intervalos que se establecen, a efectos del dimensionamiento de la sección del firme, en la intensidad media diaria de vehículos pesados.

Cimiento del firme.- Conjunto de capas de suelos u otros materiales que se encuentran bajo el plano de explanada y comprende la explanada mejorada y el terraplén o el terreno subyacente.

Coeficiente de equivalencia.- Número de ejes-tipo a los que equivale un vehículo a efectos de cálculo de la estructura del firme.

Drenaje.- Conjunto de dispositivos destinados a permitir la evacuación fuera de la carretera de las aguas profundas e infiltradas.

Desmante.- Parte de la explanación situada bajo el terreno original.

Estabilización in situ.- Mezcla homogénea y uniforme de un suelo con cal o con cemento y, eventualmente agua, en la propia traza de la carretera, que tiene por objeto mejorar determinadas propiedades de aquél.

Explanación.- Superficie superior de la coronación de terraplenes y la inferior de los desmontes. Ejecución de las operaciones necesarias para conseguir dicha superficie.

Explanada mejorada.- Conjunto de capas de suelos u otros materiales de aportación o formados por la estabilización de los existentes, que se encuentran bajo el firme y cuya finalidad es mejorar y homogeneizar la capacidad de soporte del cimiento del firme, facilitar las labores de construcción, proteger los suelos de la acción del agua mediante impermeabilización o evacuación y obtener las superficies geométricas precisas.

Firme.- Conjunto de capas ejecutadas con materiales seleccionados, colocado sobre la explanada para soportar las cargas del tráfico y permitir la circulación en condiciones de seguridad y comodidad. Constituye la estructura resistente de la calzada o arcén y comprende en general, de abajo arriba, las capas de subbase, base y pavimento.

Hormigón magro.- Mezcla homogénea de áridos, cemento, agua y aditivos, empleada en capas de base, que se pone en obra con una consistencia tal que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación. Su contenido de cemento por metro cúbico suele ser del orden de la mitad a la tercera parte del de hormigón de pavimento.

Hormigón de pavimento.- Mezcla homogénea de áridos, cemento, agua y aditivos, empleada en capas de base, que se pone en obra con una consistencia tal que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación. Su contenido de cemento permite alcanzar resistencias similares a los de los hormigones en masa utilizados en estructuras.

Intensidad de tráfico.- Número de vehículos que pasan por una sección transversal dada de una vía, carretera o carril en la unidad de tiempo.

Junta.- Discontinuidad prevista, por razones estructurales o constructivas, entre dos zonas contiguas de una capa de firme.

Lechada bituminosa.- Mezcla fabricada a temperatura ambiente, con emulsión bituminosa, áridos, agua y aditivos, cuya consistencia es adecuada para su puesta en obra y que puede aplicarse en una o varias capas.

Ley de fatiga.- Expresión matemática que permite estimar el número de aplicaciones de carga que un material puede soportar hasta su agotamiento, en función de un determinado parámetro característico de su comportamiento estructural.

Mezcla bituminosa en frío.- Combinación de emulsión bituminosa, áridos y aditivos, de manera que todas las partículas de áridos quedan recubiertas de una película de ligante. Su proceso de fabricación no implica calentar el ligante ni los áridos, y su puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

Mezcla bituminosa de alto módulo.- Mezcla bituminosa en caliente en la que el valor del módulo dinámico a veinte grados Celsius (20 °C), según la NLT-349, es superior a once mil megapascals (11.000 MPa).

Mezcla bituminosa en caliente.- Combinación de un ligante hidrocarbonado, áridos (incluido el polvo mineral) y aditivos, de manera que todas las partículas de árido quedan recubiertas de una película de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los áridos, y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la de

ambiente.

Módulo de compresibilidad.- Valor obtenido en el ensayo de carga con placa y que se define, para el ciclo de carga i , mediante la expresión: $E_i = D (P_i / S_i)$, siendo D el diámetro de la placa de carga, P_i la diferencia de presión transmitida por la placa entre dos escalones de carga y S_i la diferencia de asientos al aplicar P .

Módulo de elasticidad.- Relación entre la tensión aplicada y la deformación unitaria. Es un término general que se aplica a todos los materiales aunque no sean propiamente elásticos, es decir, aunque no haya proporcionalidad entre tensiones y deformaciones unitarias.

Nivelación.- Operación que consiste en tomar las cotas de los puntos de una superficie dada con relación a un plano de referencia.

Núcleo de terraplén.- Suelo o conjunto de suelos comprendidos entre el terreno natural y la explanada mejorada. Está formado por suelos de aportación cuya función principal es la de elevar el plano de explanada hasta la cota de subrasante.

Obra de paso.- Construcción que salva una discontinuidad en un trazado de carreteras para conseguir el paso de esta sobre un cauce, camino, conducción, etc.

Pavimento.- Parte superior de un firme, que debe resistir los esfuerzos producidos por la circulación, proporcionando a ésta una superficie de rodadura cómoda y segura.

Pavimento de hormigón.- Pavimento constituido por losas de hormigón de pavimento sin armar, separadas por juntas, o por una losa continua de hormigón armado.

Período de proyecto.- Período de tiempo durante el cual se estima que la estructura del firme permanecerá en estado útil adecuado.

Plano de Explanada.- Superficie sobre la que se asienta el firme, no perteneciente a una obra de fábrica o estructura.

Plataforma.- Zona de la carretera ocupada por la calzada, arcenes y bermas adyacentes

Proyecto.- Conjunto de documentos que reúne todos los datos e información necesarios para construir una obra.

Replanteo.- Traslado y localización sobre el terreno de los diferentes puntos característicos del proyecto, definidos por sus coordenadas, con el fin de fijar la situación de la obra de forma que esta pueda construirse en planta y alzado.

Riego de adherencia.- Aplicación de una emulsión bituminosa sobre una capa tratada con ligantes hidrocarbonatos o con conglomerantes hidráulicos, previa a la colocación sobre ésta de una mezcla bituminosa.

Riego de curado.- Aplicación de una película continua y uniforme de emulsión bituminosa sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, al objeto de impedir la evaporación prematura de la humedad.

Riego de imprimación.- Aplicación de un ligante hidrocarbonato sobre una capa granular, previa a la colocación sobre esta de una bituminosa.

Sección a media ladera.- Aquella en que el plano de explanada corta al terreno natural.

Sección en desmante.- La que corresponde a un cimiento del firme cuyo plano de explanada está situado bajo el terreno natural.

Sección en terraplén o pedraplén.- La que corresponde a un cimiento del firme cuyo plano de explanada está situado sobre el terreno natural.

Subbase.- Capa del firme situada inmediatamente bajo la base y por encima del plano de explanada. Puede no existir o estar compuesta de varias capas.

Subrasante.- Alineación vertical que constituye el trazado en alzado del eje del cimiento del firme.

Suelo.- Formación natural de estructura blanda resultado de la alteración de las rocas o de la evolución de las sustancias vegetales.

Suelocemento.- Mezcla homogénea de materiales granulares (zahorra, suelo granular o productos inertes de desecho), cemento, agua y eventualmente aditivos realizada en central, que convenientemente

compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carretera.

Terraplén.- Relleno formado por extensión y compactación de suelos por encima del terreno natural con el que se constituye el cimiento del firme. Está formado por el núcleo de terraplén y la explanada mejorada

Terreno subyacente.- Conjunto de capas de suelos, u otros materiales, que se encuentra bajo la superficie de desmonte o del núcleo de terraplén o pedraplén.

Tongada.- Capa de un determinado espesor, constante o variable, colocada sobre una superficie regular.

Tramos de proyecto.- Cada una de las partes en que queda dividida la longitud de la vía o carretera, y que se caracterizan por unos factores de diseño homogéneos.

Tratamiento superficial.- Técnica de pavimentación cuyo objetivo es dotar al firme de unas ciertas características superficiales, sin aumento directo y apreciable de la capacidad resistente y en general, tampoco de la regularidad superficial.

Vehículo pesado.- Se incluyen en esta denominación los camiones de carga útil superior a 3 t., de más de 4 ruedas y sin remolque; los camiones con uno o varios remolques; los vehículos articulados; los vehículos especiales; y los vehículos dedicados al transporte de personas con más de 9 plazas.

Velocidad máxima legal.- Máxima velocidad, fijada por la legislación vigente, o por la autoridad competente, a la que se permite circular a un vehículo por una carretera o tramo de carretera.

Vía de servicio: Camino sensiblemente paralelo a una carretera, respecto de la cual tiene carácter secundario, conectado a éste solamente en algunos puntos, y que sirve a las propiedades o edificios contiguos.

Vida útil.- Período de tiempo en el que el firme (o la capa del firme considerada) no presenta una degradación estructural generalizada.

Zahorra.- Material granular, de granulometría continua, utilizado como capa de firme. Se denomina zahorra artificial al constituido por partículas total o parcialmente trituradas. Zahorra natural es el material formado

básicamente por partículas no trituradas.

ANEXO 1

**Pliego de Mezclas Bituminosas
Abiertas en Frío, elaborado por la
Asociación Técnica de Emulsiones
Bituminosas (ATEB)**

MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS EN FRÍO

1 DEFINICIÓN.

Se define como mezcla bituminosa abierta en frío la combinación de áridos gruesos con una emulsión bituminosa y ocasionalmente aditivos, cuyo proceso de fabricación no requiere en general calentar previamente los componentes. La mezcla, que puede ser almacenada, debe poderse extender y compactar a temperatura ambiente.

Su ejecución incluye las operaciones siguientes:

- Estudio previo de los materiales.
- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Preparación de la superficie que recibirá la mezcla.
- Fabricación de la mezcla de acuerdo con la fórmula de trabajo.
- Almacenamiento de la mezcla, si procede.
- Transporte de la mezcla al lugar de empleo.
- Extensión y compactación de la mezcla.
- Ejecución de un tratamiento de protección, si procede.

2 MATERIALES.

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Real Decreto 1630/1992 (modificado por el Real Decreto 1328/1995), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE. En particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento se estará a lo establecido en su artículo 9.

Independientemente de lo anterior, se estará en todo caso, además, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

2.1 Emulsiones bituminosas.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el tipo de emulsión bituminosa a emplear que, salvo justificación en contrario, será EAM, EAM-m, ECM

o ECM-m, y cumplirá lo establecido en los artículos 213 o 216, según corresponda, del PG-3. En el caso de emplear otro tipo de emulsión bituminosa, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares establecerá las especificaciones que deba cumplir.

2.2 Áridos.

Se adoptan las denominaciones siguientes:

- Árido grueso es la parte del conjunto de fracciones granulométricas retenida en el tamiz 2 mm de la UNE-EN 933-2.
- Árido combinado es el obtenido mezclando las distintas fracciones de los áridos según las proporciones fijadas en la fórmula de trabajo.

Dado que las mezclas bituminosas abiertas en frío están constituidas por áridos gruesos, las condiciones que a continuación se establecen están referidas a dichos áridos gruesos.

2.2.1 Condiciones generales.

Los áridos a emplear en las mezclas bituminosas abiertas en frío podrán ser naturales o artificiales siempre que cumplan las especificaciones recogidas en este artículo. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares podrá exigir propiedades o especificaciones adicionales cuando se vayan a utilizar áridos cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese.

También podrá emplearse como árido el material procedente del fresado de mezclas bituminosas. En este caso, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, establecerá la proporción de material procedente de fresado a emplear.

Los áridos se producirán o suministrarán en fracciones granulométricas diferenciadas, que se acopiarán y manejarán por separado hasta su introducción en las tolvas dosificadoras.

2.2.2 Inalterabilidad.

Los áridos no serán susceptibles de experimentar ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciables bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme, o contaminar los suelos o corrientes de agua.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las Obras deberá fijar los ensayos para determinar la inalterabilidad del material. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes solubles de los áridos de cualquier tipo, naturales, artificiales o procedentes del fresado de mezclas

bituminosas, que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medio ambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades, se empleará la UNE-EN 1744-3.

2.2.3 Angulosidad (Partículas trituradas).

La proporción de partículas trituradas, según la UNE-EN 933-5, deberá cumplir lo fijado en la tabla 1.

Tabla 1 PARTICULAS TRITURADAS.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	PROPORCIÓN MÍNIMA DE PARTICULAS TRITURADAS (% en masa)
T3 o superior	90
T4 y arcenes	75

2.2.4 Forma (Índice de lajas).

Los valores máximos del índice de lajas, según la UNE-EN 933-3, serán iguales o inferiores a los de la tabla 2.

Tabla 2 INDICE DE LAJAS.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	VALOR MÁXIMO DEL ÍNDICE DE LAJAS
T3 o superior	30
T4 y arcenes	35

2.2.5 Resistencia a la fragmentación (Coeficiente Los Angeles).

El coeficiente Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2, deberá cumplir lo establecido en la tabla 3.

Tabla 3 COEFICIENTE DE DESGASTE LOS ÁNGELES.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	MÁXIMO COEFICIENTE LOS ÁNGELES
T2 o superior	20
T3	25
T4 y arcenes	30

2.2.6 Resistencia al pulimento (Coeficiente de pulimento acelerado).

El coeficiente de pulimento acelerado del árido para su empleo en capas de rodadura, según el anexo D de la UNE 146130, deberá cumplir lo fijado en la tabla 4.

Tabla 4 COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	MÍNIMO COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO
T2 o superior	0,45
T3, T4 y arcenes	0,40

En el caso de utilizar áridos certificados según la UNE-EN 13043, se exigirá la categoría PSV₅₀ para las categorías de tráfico pesado T2 y superiores, y la categoría PSV₄₄ para las categorías de tráfico pesado T3 y T4 y para arcenes.

2.2.7 Limpieza (Contenido de impurezas).

Los áridos estarán exentos de arcilla, materia vegetal, margas u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.

El contenido de impurezas, según el anexo C de la UNE 146130, del árido grueso deberá ser inferior al cinco por mil (0,5 %) en masa; en caso contrario, el Director de las Obras podrá exigir su limpieza por lavado, aspiración u otros métodos por él aprobados y una nueva comprobación.

2.3 Aditivos.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará los aditivos que pueden utilizarse, estableciendo las especificaciones que tendrán que cumplir tanto el aditivo como las mezclas bituminosas resultantes. La dosificación y dispersión homogénea del aditivo deberán ser aprobadas por el Director de las Obras.

3 TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA .

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará, para cada caso, el huso granulométrico dentro del que deberá estar comprendida la curva granulométrica del árido combinado, que será uno de los indicados en la tabla 5. El análisis granulométrico se realizará según la UNE-EN 933-1.

La dosificación mínima de betún residual, en proporción de la masa total de árido combinado, no será inferior al dos y medio por ciento (2,5 %), excepto en la capa de rodadura, donde será superior al tres por ciento (3,0 %).

Tabla 5 HUSOS GRANULOMÉTRICOS DE MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS EN FRÍO.

TIPO	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (% EN MASA)						
	Tamices UNE-EN 933-2 (mm)						
	40	31,5	20	12,5	8	4	2
AF8	-	-	-	100	50-75	10-28	0-5
AF12	-	-	100	60-85	30-55	6-24	0-5
AF20	-	100	70-95	45-70	22-46	3-20	0-5
AF25	100	81-93	54-78	30-58	16-42	3-20	0-5

El tipo de mezcla bituminosa en frío a emplear en función del espesor de la capa se definirá en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, según la tabla 6.

Tabla 6 TIPO DE MEZCLA A UTILIZAR EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DE LA CAPA.

ESPESOR (cm)	TIPO DE MEZCLA
< 4	AF8
4 - 6	AF12
6 - 8	AF20
> 8	AF25

4 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

Se estará en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental de seguridad y salud y de transporte, en lo referente a equipos empleados en la ejecución de las obras.

4.1 Central de fabricación.

La fabricación de las mezclas abiertas en frío se llevará a cabo en centrales de mezclado, las cuales pueden ser fijas o móviles. Las centrales de mezclado podrán ser de tipo continuo o discontinuo. Irán provistas de dispositivos adecuados que permitan dosificar, por separado, la emulsión bituminosa y los áridos, con una precisión compatible con las tolerancias fijadas en la fórmula de trabajo.

Las tolvas de almacenamiento de los áridos deberán tener paredes resistentes y estancas, con bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente. La separación entre las tolvas será la suficiente para evitar contaminaciones entre ellas. Su número mínimo dependerá del número de fracciones de árido que exija la fórmula de trabajo adoptada, pero en todo caso no será inferior a dos (2). Las tolvas de alimentación de los áridos deberán estar provistas de dispositivos de salida que puedan ser ajustados con precisión, y mantenidos en cualquier ajuste.

El sistema de almacenamiento y alimentación de emulsión será el adecuado para permitir una buena circulación de ligante con caudal uniforme, y debe asegurar una correcta dosificación, cuidando especialmente de que en las válvulas no existan fugas, goteos ni obstrucciones.

En el caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación deberá contar con un sistema de dosificación específico.

El Director de las Obras aprobará el equipo de fabricación, una vez realizadas las pruebas de producción y comprobadas la correcta dosificación y homogeneización de la mezcla.

4.2 Elementos de transporte.

Para el transporte de la mezcla a su lugar de empleo se utilizarán camiones volquetes de caja abierta, lisa y estanca, perfectamente limpia y que se tratará, para evitar que la mezcla se adhiera a ella, con un producto cuya composición y dotación deberán ser aprobadas por el Director de las Obras.

La forma y la altura de la caja de los camiones deberán ser tales que, si el vertido se realiza en la tolva de una extendedora, el camión sólo toque a ésta a través de los rodillos previstos al efecto.

Los medios de transporte deberán estar adaptados en todo momento al ritmo de ejecución de la obra y a la capacidad del equipo de extensión, con el fin de reducir las paradas al mínimo. Deberán disponer de una lona que cubra totalmente la caja del camión, para su empleo en la protección de la mezcla.

4.3 Equipos de extensión.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares establecerá el tipo y las características del equipo de extensión. Se emplearán preferentemente extendedoras autopropulsadas o, en su caso, plantas móviles. En el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares se indicará si se admite el empleo de motoniveladora, que en todo caso deberá ir provista de placas laterales.

Los equipos estarán dotados de los dispositivos necesarios para extender la mezcla con la anchura, el espesor y la configuración definidos en los Planos del Proyecto. Su capacidad y su potencia motriz serán las adecuadas a la producción prevista.

Las extendedoras deberán estar dotadas de un dispositivo automático de nivelación. Se comprobará, en su caso, que los ajustes del enrasador y de la maestra se atienen a las tolerancias mecánicas especificadas por el fabricante, y que dichos ajustes no han sido afectados por el desgaste o por otras causas.

Las anchuras máxima y mínima de la extensión se fijarán en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. Si a la extendedora se pudieran acoplar piezas para aumentar su anchura, éstas deberán quedar perfectamente alineadas con las originales.

4.4 Equipo de compactación.

Se podrán utilizar compactadores de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios y de neumáticos. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares establecerá la composición mínima del equipo de compactación.

Todos los tipos de compactadores deberán ser autopropulsados, tener inversores de sentido de marcha de acción suave, y estar dotados de dispositivos para la limpieza de sus llantas o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario.

Los compactadores de llantas metálicas no presentarán surcos ni irregularidades en ellas. Los compactadores vibratorios tendrán dispositivos automáticos para eliminar la vibración al invertir el sentido de su marcha. Los de neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y configuración tales que permitan el solape de las huellas de las ruedas delanteras con las traseras.

Las presiones de contacto, estáticas o dinámicas, de los diversos tipos de compactadores serán aprobadas por el Director de las Obras, y serán las necesarias para conseguir una compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, sin producir roturas del árido ni arrollamientos de la mezcla.

En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales, se emplearán otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretende realizar.

5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

5.1 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.

La fabricación y la puesta en obra de la mezcla no se iniciarán hasta que se haya aprobado por el Director de las Obras la correspondiente fórmula de trabajo, estudiada en laboratorio y verificada en la central de fabricación.

Dicha fórmula fijará como mínimo las siguientes características:

- La identificación y proporción de cada fracción del árido en la mezcla.
- La granulometría de los áridos combinados por los tamices 40, 31,5, 20, 12,5, 8, 4, 2 y 0,063 mm de la UNE-EN 933-2.
- Tipo y características de la emulsión bituminosa.
- La dosificación de la emulsión bituminosa referida a la masa del total de los áridos, y la de los aditivos referida a la masa de la emulsión bituminosa.
- En su caso, el tipo y la dotación de las adiciones, referida a la masa total del árido combinado.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de Obras, fijará la dosificación mínima del ligante hidrocarbonado teniendo en cuenta los materiales disponibles y la experiencia obtenida en casos análogos.

La dosificación mínima de la emulsión bituminosa se fijará a partir de la siguiente expresión basada en la superficie específica de los áridos:

$$B_R = (K/100) \cdot (1,5A + 2,5B + 4C + 6D + 9E + 12F), \text{ siendo:}$$

B_R = Proporción de betún residual sobre la masa seca de los áridos.

K = Coeficiente de riqueza, cuyo valor es 1 en capas de rodadura y 0,9 en capas inferiores.

A = Proporción de áridos retenida por el tamiz UNE 20 mm.

B = Proporción de áridos que pasa por el tamiz UNE 20 mm y es retenida por el tamiz UNE 8 mm.

C = Proporción de áridos que pasa por el tamiz UNE 8 mm y es retenida por el tamiz UNE 4 mm.

D = Proporción de áridos que pasa por el tamiz UNE 4 mm y es retenida por el tamiz UNE 2 mm.

E = Proporción de áridos que pasa por el tamiz UNE 2 mm y es retenida por el tamiz UNE 0,063 mm.

F = Proporción de áridos que pasa por el tamiz UNE 0,063 mm.

El tiempo de rotura y la envuelta de la emulsión bituminosa frente a los áridos combinados, se valorarán mediante los ensayos recogidos en la NLT-145. El tiempo de rotura no superará los noventa segundos (90 s) y la envuelta deberá ser satisfactoria.

La adhesividad frente al agua se valorará mediante los ensayos recogidos en la NLT-196. La adhesividad deberá ser buena antes de la acción del agua en forma de lluvia y aceptable después de dicha acción. Con el árido de obra la proporción cubierta deberá ser superior al ochenta por ciento (80 %).

Deberá comprobarse que, con la dosificación fijada, no se producen escurrimientos en la mezcla. En caso contrario, deberá ajustarse la velocidad de rotura de la emulsión bituminosa, o bien la granulometría de los áridos combinados, en cuyo caso se repetirá el proceso de dosificación.

Adicionalmente, para categorías de tráfico pesado T3 o superiores, el Director de las Obras podrá exigir la determinación de la pérdida por desgaste tras el ensayo Cántabro en seco, que no habrá de rebasar el veinticinco por ciento (25 %). El procedimiento operativo para la preparación, curado y ensayo de las probetas deberá constar de los siguientes pasos:

1. Se seguirán los apartados 1.1 al 3.1.5 de la NLT-352 (redacción del año 2000), pero sin aplicar los apartados 1.2, 3.1.2 y 3.1.3.
2. Una vez compactadas las probetas, se harán deslizar hasta dejarlas enrasadas con una de las aberturas del molde.
3. Se apoyarán las probetas sobre una superficie rígida y perforada (por ejemplo, una rejilla metálica con perforaciones de 3-4 mm).
4. Se introducirán las probetas y los soportes en una estufa de convección forzada a una temperatura de 75 ± 2 °C, dejándolas curar durante cuarenta y ocho horas (48 h).
5. Al finalizar este período de tiempo se observará si en la base de las probetas se ha producido escurrimiento de betún. Si no lo hubiese, se incrementará la temperatura de la estufa hasta 90 ± 2 °C, dejando las probetas en ella durante cinco (5) días más. Si apareciese escurrimiento de betún, deberá abandonarse el ensayo y actuar sobre el ligante bituminoso y/o sobre la granulometría de la mezcla bituminosa.
6. Pasados los cinco (5) días, se sacarán las probetas de la estufa, dejándolas enfriar a temperatura ambiente para desmoldarlas posteriormente.
7. A continuación, se procederá según lo indicado en los apartados 3.1.6 y sucesivos de la citada NLT-352.

Si la marcha de las obras lo aconsejase, el Director podrá exigir la corrección de la fórmula de trabajo, con objeto de mejorar la calidad de la mezcla, justificándolo debidamente mediante un nuevo estudio y los ensayos oportunos. Se estudiará y aprobará una nueva fórmula siempre que varíe la procedencia de alguno de los componentes, o si durante la producción se rebasan las tolerancias granulométricas establecidas en este artículo.

5.2 Preparación de la superficie existente.

Se comprobarán la regularidad superficial y el estado de la superficie sobre la que se fuera a extender la mezcla. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, indicará las medidas encaminadas a restablecer una regularidad superficial aceptable y, en su caso, a reparar zonas dañadas.

Si la superficie existente estuviese constituida por un material no tratado, se aplicará sobre ella un riego de imprimación (artículo 530 del PG-3); en el caso de una superficie tratada con un ligante o conglomerante, se aplicará un riego de adherencia (artículo 531 del PG-3). Los riegos se realizarán con arreglo a las

prescripciones de los artículos correspondientes del PG-3 y del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Se comprobará que haya transcurrido el plazo de rotura o de curado de estos riegos, no debiendo quedar restos de fluidificante ni de agua en la superficie; asimismo, si hubiera transcurrido mucho tiempo desde su aplicación, se comprobará que su capacidad de unión con la mezcla no hubiera disminuido en forma apreciable; en caso contrario, el Director de las Obras podrá ordenar una nueva aplicación.

5.3 Aprovisionamiento.

5.3.1 Aprovisionamiento de la emulsión.

El volumen mínimo de almacenamiento de cada tipo de emulsión a emplear será el correspondiente a un día de producción.

Se cumplirán las prescripciones de los artículos 213 o 216 del PG-3, según corresponda, y las del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

5.3.2 Aprovisionamiento de áridos.

El volumen mínimo de los acopios con los que se debe contar antes de iniciar la producción será fijado por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. En el caso de obras pequeñas, con un volumen total inferior a quinientos metros cúbicos (500 m³), deberá estar acopiada la totalidad de los áridos antes de empezar la fabricación de la mezcla. En obras de mayor tamaño, el volumen a exigir en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares será el treinta por ciento (30 %) como mínimo.

Cada fracción de árido se acopiará separada de las demás para evitar contaminaciones entre ellas. Si los acopios se dispusiesen sobre el terreno natural, no se utilizarán sus quince centímetros (15 cm) inferiores. Los acopios se construirán por capas sensiblemente horizontales de espesor no superior a un metro y medio (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocarán adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro de los áridos, se acopiarán por separado hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se aplicará cuando se autorice el cambio de procedencia de un árido.

5.4 Fabricación de la mezcla.

La carga de las tolvas de áridos se realizará de forma que estén siempre llenas entre el cincuenta y el cien por ciento (50 a 100 %) de su capacidad, sin llegar a rebosar. En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las salidas de las tolvas y los dosificadores de áridos se regularán de forma que se obtenga la granulometría de la fórmula de trabajo con el caudal necesario para la producción prevista.

Si la central es de tipo continuo, se introducirán en el mezclador los áridos y, de forma sucesiva, la proporción de emulsión establecida.

Si la instalación es de tipo discontinuo, después de haber introducido en el mezclador los áridos, se agregará la cantidad de emulsión precisa para cada amasada, y se continuará la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

Una vez realizadas las pruebas de producción y comprobada la correcta dosificación y homogeneización de la mezcla, el Director de las Obras aprobará el equipo de fabricación.

En el caso de utilizar instalaciones móviles, el Director de las Obras comprobará que el equipo reúne las condiciones necesarias para realizar una mezcla con la composición y homogeneidad requeridas.

5.5 Transporte de la mezcla.

La mezcla se transportará hasta el lugar de empleo evitando la segregación.

Cualesquiera que sean las condiciones climáticas, se protegerá la mezcla con un cobertor adecuado que cubra totalmente la caja del camión.

5.6 Extensión de la mezcla.

A menos que el Director de las Obras permita otro procedimiento, la extensión comenzará por el borde inferior, y se realizará por franjas longitudinales. La anchura de estas franjas se fijará de manera que se consiga la mayor continuidad de la extensión teniendo en cuenta la anchura de la sección, el eventual mantenimiento de la circulación, las características del equipo de extensión y la producción de la central.

Si la extensión se lleva a cabo con extendedora, ésta se regulará de forma que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin segregaciones ni arrastres, y con un espesor tal que, después de la compactación, se obtengan las rasantes y secciones definidas en los Planos del Proyecto, con las tolerancias establecidas en el presente artículo.

Si la extensión se efectúa con motoniveladora ésta deberá trabajar con la hoja llena, prácticamente perpendicular al eje de la carretera, con el fin de evitar segregaciones, y sin que la hoja toque la capa inferior.

Cualquiera que sea el procedimiento utilizado, la operación de extensión se detendrá si se observa que se produce segregación o contaminación o falta de uniformidad en la textura superficial, y se procederá a efectuar las correcciones necesarias para impedirlo.

5.7 Compactación de la mezcla.

La compactación se realizará según el plan aprobado por el Director de las Obras, de acuerdo con los resultados del tramo de prueba.

La compactación se efectuará longitudinalmente, de manera continua y sistemática, comenzando por los bordes, progresando hacia el centro y solapándose en cada recorrido una anchura no inferior a un tercio de la anchura del compactador. Si la extensión de la mezcla bituminosa se realizase por franjas contiguas, al compactar la primera de ellas se dejarán sin compactar longitudinalmente los quince centímetros (15 cm) limítrofes con la siguiente franja adyacente, de tal manera que al compactar ésta el compactador pasará a compactar los quince centímetros (15 cm) de la primera, evitando así la junta longitudinal. En todo caso, se evitará que los camiones circulen sobre la zona sin compactar.

Los rodillos deberán llevar su rueda motriz del lado más cercano a la extendedora. Los cambios de dirección y sentido se harán sobre la mezcla ya compactada con suavidad. Se cuidará de que los elementos de compactación estén limpios y, si fuera preciso, húmedos.

5.8 Juntas.

Se dispondrán juntas de trabajo transversales entre los tramos ejecutados en jornadas distintas.

Las juntas de trabajo transversales, se dispondrán de forma que su borde quede perfectamente vertical, recortando parte de la capa terminada. Se aplicará en la junta una capa uniforme y delgada de emulsión bituminosa, antes de reanudar la extensión de la mezcla bituminosa.

Si se trabaja por fracciones de la anchura total, se dispondrán juntas longitudinales si transcurre más de una jornada entre la extensión de dos franjas contiguas.

En el caso de construir por tongadas o capas superpuestas las juntas transversales de tongadas superpuestas estarán separadas al menos cinco metros (5 m) y las longitudinales al menos quince centímetros (15 cm).

5.9 Protección de la superficie.

Si tras la puesta en obra de la capa se prevé su apertura inmediata al tráfico, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, establecerá la necesidad de ejecutar un tratamiento de protección de la superficie. Dicho tratamiento consistirá en la aplicación y compactación de un enarenado sobre la mezcla ya compactada. El árido a utilizar será limpio, procedente de trituración, con un tamaño máximo de cuatro milímetros (4 mm) y con la dotación fijada por el Director de las Obras.

La dosificación del árido será, como mínimo, de tres litros por metro cuadrado (3 l/m²) y como máximo cinco litros por metro cuadrado (5 l/m²), y en su aplicación se emplearán camiones provistos de dispositivos que aseguren una extensión uniforme y ajustada a la dotación prevista. Ocasionalmente, previa aprobación del

Director de las Obras, podrá extenderse la arena de forma manual mediante palas y cepillos.

El apisonado del árido deberá realizarse con compactadores de neumáticos, procediendo, a continuación, a eliminar el árido sobrante mediante barrido.

6 TRAMO DE PRUEBA.

Antes de iniciarse la puesta en obra de cada tipo de mezcla bituminosa abierta en frío será preceptiva la realización del correspondiente tramo de prueba, para comprobar la fórmula de trabajo y la forma de actuación de los equipos de extensión y de compactación.

El tramo de prueba tendrá una longitud que será definida en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. El Director de las Obras determinará si es aceptable su realización como parte integrante de la obra en construcción.

Durante la ejecución del tramo de prueba se analizarán los aspectos siguientes:

- El funcionamiento del equipo de fabricación de la mezcla.
- La composición y el método de actuación del equipo de extensión y de compactación.
- El comportamiento del material en la compactación.

Se tomarán muestras de la mezcla bituminosa y se ensayarán para determinar su conformidad con las condiciones especificadas.

A la vista de los resultados obtenidos, el Director de las Obras definirá:

- Si es aceptable o no la fórmula de trabajo. En el primer caso, se podrá iniciar la fabricación de la mezcla bituminosa. En el segundo, deberá proponer las actuaciones a seguir: estudio de una nueva fórmula, corrección parcial de la ensayada, correcciones en el equipo de fabricación o en los sistemas de extensión, etc.
- Si son aceptables o no los equipos propuestos por el Contratista. En el primer caso, definirá su forma específica de actuación. En el segundo caso, el Contratista deberá proponer nuevos equipos, o incorporar equipos suplementarios o sustitutorios.

No se podrá proceder a la producción sin que el Director de las Obras haya autorizado el inicio en las condiciones aceptadas después del tramo de prueba.

7 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA.

7.1 Espesor y anchura.

La superficie acabada no deberá diferir de la teórica en más de 10 milímetros (10 mm) en capas de rodadura, ni de quince milímetros (15 mm) en las restantes capas.

El espesor de una capa no deberá ser inferior al previsto para ella en los Planos de secciones tipo del Proyecto.

En todos los semiperfiles se comprobará la anchura extendida, que en ningún caso deberá ser inferior a la teórica deducida de los Planos de secciones tipo del Proyecto.

7.2 Regularidad superficial.

Salvo que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares estableciere unas mayores exigencias, el índice de regularidad superficial (IRI), según la NLT-330, de la capa terminada deberá cumplir lo fijado en la tabla 7.

TABLA 7 - ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) (dm/hm)

PROPORCIÓN DE HECTÓMETROS (%)	IRI EN CAPAS DE RODADURA E INMEDIATAMENTE INFERIORES
50	< 2,0
80	< 2,5
100	< 3,0

7.3 Macrotextura superficial y resistencia al deslizamiento.

La superficie de la capa deberá presentar una textura homogénea, uniforme y exenta de segregaciones.

Únicamente a efectos de recepción de capas de rodadura, la macrotextura superficial, según la NLT-335, y la resistencia al deslizamiento, según la NLT-336, no deberán ser inferiores a los valores indicados en la tabla 8.

TABLA 8 MACROTEXTURA SUPERFICIAL (NLT-335) Y RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (NLT-336) DE LAS MEZCLAS PARA CAPAS DE RODADURA.

MACROTEXTURA SUPERFICIAL (*) Valor mínimo (mm)		RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (**) CRT mínimo (%)
Sin tratamiento de protección	Con tratamiento de protección	60
1,5	1,0	

(*) Medida antes de la puesta en servicio

(**) Medida una vez transcurridos dos (2) meses desde la puesta en servicio de la capa.

8 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN.

Salvo autorización expresa del Director de las Obras, no se permitirá la puesta en obra de mezclas bituminosas abiertas en frío si la temperatura ambiente a la sombra es inferior a cinco grados Celsius (5 °C). Con viento intenso, después de una helada, o si se producen precipitaciones atmosféricas, el Director de las Obras podrá aumentar dicho límite.

No se podrá abrir a la circulación la capa ejecutada mientras no esté terminada su compactación y, en su caso, el tratamiento de protección.

9 CONTROL DE CALIDAD.

9.1 Control de procedencia de los materiales.

9.1.1 Control de procedencia de la emulsión bituminosa.

La emulsión bituminosa deberá cumplir las especificaciones establecidas en el artículo 213 o en el artículo 216 del PG-3, según el tipo de emulsión a emplear.

9.1.2 Control de procedencia de los áridos

Si con los áridos se aportara certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo o estuviese en posesión de una marca, sello o distintivo de calidad reconocido por la Administración Pública competente, según lo indicado en el apartado 12, los criterios descritos a continuación para realizar el control de procedencia de los áridos no serán de

aplicación obligatoria, sin perjuicio de las facultades que corresponden al Director de las Obras.

En el supuesto de no cumplirse las condiciones indicadas en el párrafo anterior, de cada procedencia del árido, y para cualquier volumen de producción previsto, se tomarán cuatro (4) muestras, según la UNE-EN 932-1, y de cada fracción de ellas se determinará:

- El coeficiente Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2.
- El coeficiente de pulimento acelerado para capas de rodadura, según el anexo D de la UNE 146130.
- La densidad relativa y la absorción, según la UNE-EN 1097-6.
- La granulometría de cada fracción, según la UNE-EN 933-1.

El Director de las Obras podrá ordenar la repetición de estos ensayos con nuevas muestras y la realización de los siguientes ensayos adicionales:

- Proporción de partículas trituradas, según la UNE-EN 933-5.
- Proporción de impurezas, según el anexo C de la UNE 146130.

El Director de las Obras comprobará además:

- La retirada de la eventual montera en la extracción de los áridos.
- La exclusión de vetas no utilizables.
- La adecuación de los sistemas de trituración y de clasificación.

9.2 Control de calidad de los materiales.

9.2.1 Control de calidad de la emulsión bituminosa.

La emulsión bituminosa deberá cumplir las especificaciones establecidas en los artículos 213 o 216 del PG-3, según el tipo de emulsión a emplear.

9.2.2 Control de calidad de los áridos.

Se examinará la descarga en el acopio o la alimentación de las tolvas, desechando los áridos que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo. Se acopiarán aparte los que presenten alguna

anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, lajas, plasticidad, etc.

Se vigilará la altura de los acopios y el estado de sus elementos separadores, así como los accesos.

Con cada fracción de árido que se produzca o reciba, se realizarán los siguientes ensayos:

Al menos dos (2) veces al día:

- Análisis granulométrico de cada fracción, según la UNE-EN 933-1.

Al menos una (1) vez a la semana, o cuando se cambie de procedencia:

- Índice de lajas, según la UNE-EN 933-3.
- Proporción de partículas trituradas, según la UNE-EN 933-5.
- Proporción de impurezas, según el anexo C de la UNE 146130.

Al menos una (1) vez al mes, o cuando se cambie de procedencia:

- Coeficiente Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2.
- Coeficiente de pulimento acelerado, según el anexo D de la UNE 146130.
- Densidad relativa y absorción, según la UNE-EN 1097-6.

9.3 Control de ejecución.

9.3.1 Fabricación.

Se tomará diariamente, según la UNE-EN 932-1, un mínimo de dos (2) muestras, una por la mañana y otra por la tarde, de la mezcla de áridos, y con ellas se efectuarán los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico del árido combinado, según la UNE-EN 933-1.

En centrales de mezcla continua se calibrará al menos una vez a la semana el flujo de la cinta suministradora de áridos, deteniéndola cargada de áridos, y recogiendo y pesando el material existente en una longitud elegida.

Al menos semanalmente se verificará la exactitud de las básculas de dosificación.

Se tomarán muestras en la descarga del mezclador, y con ellas se efectuarán los siguientes ensayos:

- Control del aspecto de la mezcla en cada elemento de transporte.
- Al menos dos (2) veces al día (mañana y tarde), y al menos una (1) vez por

lote, contenido de ligante residual, según la UNE-EN 12697-1, y granulometría de los áridos extraídos, según la UNE-EN 12697-2.

Adicionalmente, para categorías de tráfico pesado T3 o superiores, al menos una (1) vez al día y al menos una (1) vez por lote, el Director de las Obras podrá exigir la determinación de la pérdida por desgaste tras el ensayo Cántabro en seco, según el procedimiento detallado en el apartado 5.1.

Si se emplean plantas móviles, las muestras para los anteriores ensayos se tomarán a la salida del elemento de extensión.

Las tolerancias admisibles respecto a la fórmula de trabajo, en proporción sobre la masa del árido seco, serán las de la tabla 9.

TABLA 9 – TOLERANCIAS EN LA FÓRMULA DE TRABAJO SEGÚN LA CATEGORÍA DEL TRÁFICO PESADO (% en masa).

CARACTERISTICA		Calzadas con T3 o superior	Resto
Tamices	> 2 mm	± 4	± 6
	2 mm	± 2	± 2
	0,063 mm	± 1	± 1
Ligante residual		± 0,3	± 0,4

9.3.2 Puesta en obra.

9.3.2.1 Extensión.

Se medirá la temperatura ambiente para tener en cuenta las limitaciones que se fijan en el apartado 8 de este artículo.

Antes de verter la mezcla desde el elemento de transporte, se comprobará su aspecto.

Se verificará frecuentemente el espesor extendido, mediante un punzón graduado.

9.3.2.2 Compactación.

Se comprobará la composición y forma de actuación del equipo de compactación, verificando:

- Que el número y tipo de compactadores son los aprobados.
- El funcionamiento de los dispositivos de humectación, limpieza y protección.
- El lastre, masa total y, en su caso, presión de inflado de los compactadores.
- La frecuencia y la amplitud en los compactadores vibratorios.
- El número de pasadas de cada compactador.

9.4 Control de recepción de la unidad terminada.

Se considerará como lote, que se aceptará o rechazará en bloque, el menor que resulte de aplicar los tres (3) criterios siguientes a una (1) sola capa de mezcla bituminosa:

- Quinientos metros (500 m).
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²).
- La fracción construida diariamente.

En obra nueva se controlará la regularidad superficial del lote a partir de las veinticuatro horas (24 h) de su ejecución, y siempre antes de la extensión de la siguiente capa, mediante la determinación del índice de regularidad internacional (IRI), según la NLT-330, que deberá cumplir lo especificado en el apartado 7.2. La comprobación de la regularidad superficial de toda la longitud de la obra, en capas de rodadura, tendrá lugar antes de la recepción definitiva las obras.

En capas de rodadura se realizarán además los ensayos siguientes:

- Medida de la macrotextura superficial, según NLT-335, antes de la puesta en servicio de la capa, en cinco (5) puntos del lote aleatoriamente elegidos de forma que haya al menos uno por hectómetro (1/hm).
- Determinación de la resistencia al deslizamiento, según la NLT-336, una vez transcurridos dos (2) meses de la puesta en servicio de la capa.

10 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO.

10.1 Espesor.

El espesor medio obtenido no deberá ser inferior al especificado en el apartado 7.1. Asimismo, no más de tres (3) individuos de la muestra ensayada podrán presentar resultados individuales que bajen del especificado en más de un diez por ciento (10%).

Si el espesor medio obtenido en una capa fuera inferior al especificado en el apartado 7.1, se procederá de la siguiente manera:

Para capas intermedias y de rodadura:

- Si el espesor medio obtenido en una capa intermedia o de rodadura fuera inferior al noventa por ciento (90%) del especificado en el apartado 7.1, se rechazará la capa debiendo el Contratista levantar la capa mediante fresado y reponerla por su cuenta.
- Si el espesor medio obtenido en una capa intermedia o de rodadura fuera superior al noventa por ciento (90%) de lo especificado en el apartado 7.1, y no existieran problemas de encharcamiento, se aceptará la capa con una penalización económica del diez por ciento (10%).

10.2 Regularidad superficial.

Si los resultados de la regularidad superficial de la capa acabada exceden de los límites establecidos en el apartado 7.2, se procederá de la siguiente manera:

- Si los resultados de la regularidad de la capa acabada exceden de los límites establecidos en el apartado 7.2. en más de un diez por ciento (10 %) de la longitud del tramo controlado o de la longitud total de la obra para capas de rodadura, se extenderá por cuenta del Contratista una nueva capa de mezcla bituminosa con el espesor que determine el Director de las Obras.
- Si los resultados de la regularidad de la capa acabada exceden de los límites establecidos en el apartado 7.2 en menos del diez por ciento (10 %) de la longitud del tramo controlado o de la longitud total de la obra para capas de rodadura, se corregirán los defectos de regularidad superficial por cuenta del Contratista.

10.3 Macrotextura superficial y resistencia al deslizamiento.

En capas de rodadura, el resultado medio del ensayo de la medida de la macrotextura superficial no deberá resultar inferior al valor previsto en la tabla 7. No más de un (1) individuo de la muestra ensayada podrá presentar un resultado individual inferior a dicho valor en más del veinticinco por ciento (25%).

Si el resultado medio del ensayo de la medida de la macrotextura superficial resulta inferior al valor previsto en la tabla 7, se procederá de la siguiente manera:

- Si el resultado medio del ensayo de la medida de la macrotextura superficial resulta inferior al noventa por ciento (90%) del valor previsto en la tabla 7, se demolerá el lote, se retirará a vertedero y se repondrá la capa por cuenta del Contratista.
- Si el resultado medio del ensayo de la medida de la macrotextura superficial resulta superior al noventa por ciento (90%) del valor previsto en la tabla 7, se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).

En capas de rodadura, el resultado medio del ensayo de determinación de la resistencia al deslizamiento no deberá ser inferior al valor previsto en la tabla 7. No más de un (1) individuo de la muestra ensayada podrá presentar un resultado individual inferior a dicho valor en más de cinco centésimas (0,05).

Si el resultado medio del ensayo de determinación de la resistencia al deslizamiento resulta inferior al valor previsto en la tabla 7, se procederá de la siguiente manera:

- Si el resultado medio del ensayo de determinación de la resistencia al deslizamiento resulta inferior al noventa por ciento (90%) del valor previsto en la tabla 7, se demolerá el lote, se retirará a vertedero y se repondrá la capa por cuenta del Contratista.
- Si el resultado medio del ensayo de determinación de la resistencia al deslizamiento resulta superior al noventa por ciento (90%) del valor previsto en la tabla 7, se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).

11 MEDICIÓN Y ABONO.

Unicamente si la capa de asiento no fuera construida bajo el mismo Contrato, se podrá abonar la comprobación y, en su caso, reparación de la superficie existente, por metros cuadrados (m²) realmente ejecutados.

La preparación de la superficie existente no es objeto ni está incluida en esta unidad de obra. El riego de adherencia se abonará según lo prescrito en el artículo 531 del PG-3.

La fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas en frío se abonará por toneladas (t) realmente puestas en obra, determinadas mediante pesada de los camiones en báscula. Este abono incluye los áridos, incluido el procedente de fresado de mezclas bituminosas, y todas las operaciones de acopio, preparación, fabricación, puesta en obra y terminación. No serán de abono las creces laterales, ni las consecuencias de la aplicación de la compensación de la merma de espesores de capas subyacentes, que excedan las tolerancias establecidas para esas capas.

Salvo en capas de regularización de firmes no contruidos bajo el mismo Contrato, no serán de abono los excesos de espesor que superen el diez por ciento (10 %) del previsto en las secciones tipo de los Planos del Proyecto.

La emulsión bituminosa empleada en la fabricación de la mezcla bituminosa en frío se abonará por toneladas (t), obtenidas aplicando a la medición abonable de fabricación y puesta en obra la dosificación media deducida de los ensayos de control de cada lote.

Los activantes u otros aditivos, si los hubiere, sólo se abonarán separadamente si lo establece explícitamente el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y su precio unitario figura en el Cuadro de Precios del Proyecto. Su abono se hará por toneladas (t), obtenidas aplicando a la medición de emulsión la dosificación aprobada.

Las adiciones, si las hubiere, se abonarán por toneladas (t), obtenidas aplicando a la medición de árido la dosificación aprobada.

La protección de la superficie, en su caso, se abonará por metros cuadrados (m²) realmente ejecutados medidos sobre el terreno.

12 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISTINTIVOS DE CALIDAD.

El cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias requeridas a los productos contemplados en este artículo, se podrá acreditar por medio del correspondiente certificado que, cuando dichas especificaciones estén establecidas exclusivamente por referencia a normas, podrá estar constituido por un certificado de conformidad a dichas normas.

Si los referidos productos disponen de una marca, sello o distintivo de calidad que asegure el cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo, se aceptará como tal cuando dicho distintivo esté reconocido por la Administración Pública competente.

El certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo podrá ser otorgado por las Administraciones Públicas competentes en materia de carreteras o por los Organismos españoles públicos y privados autorizados para realizar tareas de certificación o ensayos en el ámbito de los materiales, sistemas y procesos industriales, conforme al Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre.

NORMAS REFERENCIADAS.

NLT-145	Envuelta de áridos con las emulsiones bituminosas.
NLT-159	Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall.
NLT-196	Envuelta y resistencia al desplazamiento por el agua de las emulsiones bituminosas.

NLT-330	Cálculo del índice de regularidad internacional (IRI) en pavimentos de carreteras.
NLT-335	Medida de la macrotextura superficial de un pavimento por la técnica volumétrica.
NLT-336	Determinación de la resistencia al deslizamiento con el equipo de medida del rozamiento transversal.
NLT-352	Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste.
UNE 146130	Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras áreas pavimentadas (esta norma no está vigente, salvo en lo que se refiere a los anexos C y D, que son los que se citan en estas prescripciones técnicas).
UNE-EN 932-1	Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 1: Métodos de muestreo.
UNE-EN 933-1	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado.
UNE-EN 933-2	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.
UNE-EN 933-3	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas.
UNE-EN 933-5	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 5: Determinación del porcentaje de caras de fractura de las partículas del árido grueso.
UNE-EN 1097-2	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación.
UNE-EN 1097-6	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua.
UNE-EN 1744-3	Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 3: Preparación de eluatos por lixiviación de áridos.
UNE-EN 12697-1	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 1: Contenido de ligante soluble.
UNE-EN 12697-2	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas.
UNE-EN 13043	Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas.

ANEXO 2

**Pliego de Grava-Emulsión,
elaborado por la Asociación
Técnica de Emulsiones
Bituminosas (ATEB)**

GRAVA - EMULSIÓN

1 DEFINICIÓN.

Se denomina grava-emulsión a una mezcla homogénea de áridos, emulsión bituminosa, agua y, ocasionalmente, aditivos, cuya fabricación y puesta en obra se realizan a temperatura ambiente, y que se utiliza en capas inferiores de los firmes.

Su ejecución incluye las operaciones siguientes:

- Estudio previo de los materiales.
- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Preparación de la superficie que va a recibir la grava-emulsión.
- Fabricación de la grava-emulsión de acuerdo con la fórmula propuesta.
- Acopio de la mezcla en su caso.
- Transporte de la grava-emulsión al lugar de empleo.
- Extensión y compactación de la mezcla.
- En su caso, ejecución de un riego de sellado.

2 MATERIALES.

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Real Decreto 1630/1992 (modificado por el Real Decreto 1328/1995), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE. En particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento se estará a lo establecido en su artículo 9.

Independientemente de lo anterior, se estará en todo caso además a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

2.1 Emulsión bituminosa.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará, de acuerdo con lo indicado en la tabla 1, el tipo de emulsión bituminosa dependiendo de la situación de la capa en el firme, de la zona térmica estival y de la categoría de tráfico pesado, definidas estas últimas en la Norma 6.1 IC de Secciones de firme de la Instrucción de

Carreteras. Salvo justificación en contrario, la emulsión bituminosa cumplirá las prescripciones de los artículos 213 o 216, según corresponda, del PG-3.

TABLA 1 - TIPO DE EMULSIÓN BITUMINOSA

SITUACIÓN DE LA CAPA	CATEGORÍA DE TRAFICO PESADO	ZONA TÉRMICA ESTIVAL	
		Cálida	Media y templada
Calzada	T2 o superior	EAL-2d, ECL-2d, ECL-2d-m	
	T3	EAL-2d, ECL-2d, ECL-2d-m	EAL-2, ECL-2, ECL-2m
	T4	EAL-2, ECL-2	
Arcén	T2 o superior	EAL-2d, ECL-2d	EAL-2, ECL-2
	T3 y T4	EAL-2, ECL-2	

En el caso de utilizar emulsiones con adiciones para controlar su rotura o mejorar sus propiedades, no incluidas en los artículos 213 o 216 del PG-3, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares establecerá las especificaciones que deban cumplir. La dosificación y el método de dispersión de las adiciones deberán ser aprobados por el Director de las Obras.

2.2 Áridos.

2.2.1 Características generales.

Los áridos a emplear en la grava-emulsión podrán ser naturales o artificiales, pero en todo caso habrán de cumplir las especificaciones recogidas en este artículo.

En cumplimiento de lo dispuesto en el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición se dará preferencia al posible empleo como árido del material procedente del fresado de mezclas bituminosas, en la proporción que se establezca en la fórmula de trabajo.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá exigir propiedades o especificaciones adicionales cuando se vayan a emplear áridos cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese.

Los áridos se producirán o suministrarán en fracciones granulométricas diferenciadas, que se acopiarán y manejarán por separado hasta su introducción en las tolvas de la central de fabricación. En el caso de la grava-emulsión del tipo GE3 el árido se podrá producir o suministrar en una única fracción.

El equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8, del árido obtenido combinando las distintas fracciones de los áridos (incluido el polvo mineral) según las proporciones

fijadas en la fórmula de trabajo, deberá ser superior a cuarenta y cinco (45) en calzadas con categoría de tráfico pesado T2 o superior, a cuarenta (40) en calzadas con categoría de tráfico pesado T3 y arcenes de vías con categoría de tráfico pesado T2 o superior, y a treinta y cinco (35) en los demás casos. De no cumplirse esta condición, su valor de azul de metileno, según la UNE-EN 933-9, deberá ser inferior a diez (10) y, simultáneamente, el equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8, deberá ser superior a treinta y cinco (35) en calzadas con categoría de tráfico pesado T2 o superior, a treinta (30) en calzadas con categoría de tráfico pesado T3 y arcenes de vías con categoría de tráfico pesado T2 o superior, y a veinticinco (25) en los demás casos.

Los áridos no serán susceptibles de experimentar ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme, o contaminar los suelos o corrientes de agua.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, deberá fijar los ensayos para determinar la inalterabilidad del material. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes solubles de los áridos de cualquier tipo, naturales, artificiales o procedentes del fresado de mezclas bituminosas, que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medio ambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades, se empleará la UNE-EN 1744-3.

El árido procedente de mezclas bituminosas se obtendrá de la disgregación por fresado de capas de mezcla bituminosa. En ningún caso se admitirán áridos procedentes de mezclas bituminosas en las que hayan aparecido deformaciones plásticas (roderas). Se determinará la granulometría del árido recuperado, según la UNE-EN 12697-2, que se empleará en el estudio de la fórmula de trabajo. El tamaño máximo de las partículas vendrá fijado por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, debiendo pasar la totalidad por el tamiz 40 mm de la UNE-EN 933-2.

El árido obtenido de mezclas bituminosas, cumplirá las especificaciones de los apartados 2.2.2, 2.2.3 o 2.2.4 de este artículo, dependiendo de su granulometría obtenida según la UNE-EN 12697-2.

2.2.2 Árido grueso.

2.2.2.1 Definición.

Se denomina árido grueso a la parte del árido total retenida por el tamiz 2 mm de la UNE-EN 933-2.

2.2.2.2 Angulosidad.

La proporción de partículas trituradas del árido grueso, según la UNE-EN 933-5, será fijada por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y no será inferior a

los límites fijados en la tabla 2. Podrá no exigirse esta característica si se emplea el huso granulométrico GE3 definido en el apartado 3 de este artículo.

TABLA 2 - PROPORCIÓN DE PARTÍCULAS TRITURADAS DEL ÁRIDO GRUESO

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	PARTÍCULAS CON DOS O MÁS CARAS DE FRACTURA (% en masa mínimo)
Calzadas con T2 o superior	90
Calzadas con T3 y arcenes con T2 o superior	75
Calzadas con T4 y arcenes con T3 o T4	50

2.2.2.3 Forma.

El índice de lajas de las distintas fracciones del árido grueso, según la UNE-EN 933-3, será fijado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. No deberá ser superior a treinta (30) en calzadas de carreteras con categoría de tráfico pesado T2 o superior, ni a treinta y cinco (35) en los demás casos. Podrá no exigirse esta característica si se emplea el huso granulométrico GE3 definido en el apartado 3 de este artículo.

2.2.2.4 Resistencia a la fragmentación.

El coeficiente de desgaste Los Ángeles del árido grueso, según la UNE-EN 1097-2, no deberá superar, tanto en calzadas como en arcenes, los límites fijados en la tabla 3. Si se utiliza el huso granulométrico GE3, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares podrá fijar el valor máximo en cuarenta (40).

TABLA 3 – COEFICIENTE DE DESGASTE LOS ÁNGELES DEL ÁRIDO GRUESO

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	VALOR MÁXIMO DEL COEFICIENTE DE DESGASTE LOS ÁNGELES
Calzadas T2 o superior	30
Restantes situaciones	35

2.2.2.5 Limpieza.

El árido grueso deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas. El contenido de impurezas, según el anexo C de la UNE 146130, del árido grueso deberá ser inferior al cinco por mil (0,5%) en masa; en caso contrario, el Director de las Obras podrá exigir su limpieza por lavado, aspiración u otros métodos por él aprobados y una nueva comprobación.

2.2.3 Árido fino.

2.2.3.1 Definición.

Se denomina árido fino a la parte del árido total cernida por el tamiz 2 mm y retenida por el tamiz 0,063 mm de la UNE-EN 933-2.

2.2.3.2 Procedencia.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, deberá señalar la proporción máxima de arena natural a emplear en la mezcla, respecto al total del árido, la cual no deberá superar el valor fijado en la tabla 4. Podrá no fijarse ningún límite si se emplea el huso granulométrico GE3 definido en el apartado 3 de este artículo.

TABLA 4 - PROPORCIÓN MÁXIMA DE ARENA NATURAL

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	PROPORCIÓN MÁXIMA (% en masa)
Calzadas con T2 o superior	10
Calzadas con T3	15
Calzadas con T4 y arcenes	20

2.2.3.3 Limpieza.

El árido fino deberá estar exento de terrones de arcilla, material vegetal, marga u otras materias extrañas.

2.2.3.4 Plasticidad.

En calzadas con categoría de tráfico pesado T3 o superior el árido fino deberá ser no plástico. En los demás casos, su límite líquido será inferior a veinticinco (25) y su índice de plasticidad menor de seis (6), de acuerdo con las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente, salvo para la grava-emulsión del tipo GE3, cuyo límite líquido será menor de cuarenta (40) y su índice de plasticidad menor de diez (10).

2.2.3.5 Resistencia a la fragmentación.

El material que se triture para obtener árido fino deberá cumplir las mismas condiciones exigidas al árido grueso en el apartado 2.2.2.4 sobre coeficiente de desgaste Los Ángeles.

2.2.3.6 Adhesividad.

Salvo que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares disponga otra cosa, se considerará que la adhesividad es suficiente si el índice de adhesividad Riedel-Weber, según la NLT-355, es superior a cuatro (4).

Se podrá mejorar la adhesividad entre el árido y el ligante hidrocarbonado mediante activantes o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. En tales casos, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, establecerá las especificaciones que tendrán que cumplir tanto dichos productos como la grava-emulsión resultante.

2.2.4 *Polvo mineral.*

2.2.4.1 Definición.

Se denomina polvo mineral a la parte del árido total cernida por el tamiz 0,063 mm de la UNE-EN 933-2.

2.2.4.2 Procedencia.

El polvo mineral podrá proceder de los áridos o aportarse a la mezcla, por separado de aquéllos, como un producto comercial o especialmente preparado.

2.2.4.3 Finura.

La densidad aparente del polvo mineral, según la NLT-176, deberá estar comprendida entre cinco y ocho decigramos por centímetro cúbico (0,5 a 0,8 g/cm³).

2.3 **Agua.**

El agua utilizada en la fabricación de la grava-emulsión cumplirá las especificaciones del artículo 280 de PG-3.

2.4 **Aditivos.**

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará los aditivos que pueden utilizarse, estableciendo las especificaciones que tendrán que cumplir tanto el aditivo como la grava-emulsión resultante. La dosificación y la forma de dispersión del aditivo deberán ser aprobadas por el Director de las Obras.

3 TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA GRAVA-EMULSIÓN.

La granulometría del árido obtenido combinando las distintas fracciones de los áridos (incluido el polvo mineral), deberá estar comprendida dentro de alguno de los husos granulométricos fijados en la tabla 5. El análisis granulométrico se hará según la UNE-EN 933-1.

**TABLA 5 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS.
CERNIDO ACUMULADO (% en masa)**

	40	31,5	20	12,5	8	4	2	0,500	0,250	0,125	0,063
GE1	-	100	80-100	66-82	54-69	38-54	26-40	13-22	8-16	5-10	2-5
GE2	-	100	80-100	58-86	43-73	26-55	17-40	9-23	7-18	4-14	2-10
GE3	100	-	-	-	-	26-62	18-50	9-33	-	-	2-13

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el tipo de grava-emulsión que ha de emplearse en cada caso. En calzadas con categorías de tráfico pesado T3 o superior será preceptivo el empleo del huso GE1. El huso GE3 únicamente podrá emplearse en calzadas si la intensidad media diaria de vehículos pesados es inferior a 10 ($IMD_p < 10$).

El espesor de una tongada de grava-emulsión, salvo en la regularización de un firme ejecutado bajo otro contrato, no será en ningún caso, tras su compactación, inferior a seis centímetros (6 cm) ni superior a quince centímetros (15 cm).

Si se emplean los husos GE1 o GE2 y el espesor de la capa de grava-emulsión es superior a 8 cm, al menos un 10 % del árido deberá quedar retenido en el tamiz 20 mm de la UNE-EN 933-2.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará la dotación mínima de ligante hidrocarbonado residual de la grava-emulsión. En todo caso, la dotación mínima de ligante residual será del tres por ciento (3,0 %) en masa sobre el total del árido seco, incluido el polvo mineral, si se trata de calzadas en carreteras con categoría de tráfico pesado T3 o superior, y del dos y medio por ciento (2,5 %) en masa sobre el total del árido seco, incluido el polvo mineral, en los restantes casos, si bien esta proporción podrá reducirse al dos por ciento (2,0 %) cuando se emplee el huso GE3.

4 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de transporte en lo referente a los equipos empleados en la ejecución de las obras.

4.1 Equipo de fabricación.

La fabricación de la grava-emulsión del tipo GE1 se realizará preceptivamente en centrales de mezclado, las cuales pueden ser fijas o móviles. Para la fabricación de los tipos GE2 y GE3, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares podrá admitir la fabricación in situ.

Las centrales de mezclado podrán ser de tipo continuo o discontinuo. Irán provistas de dispositivos adecuados que permitan dosificar, por separado, la emulsión bituminosa, el agua y los áridos, con una precisión compatible con las tolerancias fijadas en la fórmula de trabajo.

Las tolvas de almacenamiento de los áridos deberán tener paredes resistentes y estancas, con bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente. La separación entre las tolvas será la suficiente para evitar contaminaciones entre ellas. Su número mínimo dependerá del número de fracciones de árido que exija la fórmula de trabajo adoptada, pero en todo caso no será inferior a tres (3) cuando se fabrique grava-emulsión del tipo GE1. Las tolvas de alimentación de los áridos deberán estar provistas de dispositivos de salida que puedan ser ajustados con precisión, y mantenidos en cualquier ajuste.

El sistema de almacenamiento y alimentación de emulsión será el adecuado para permitir una buena circulación de ligante con caudal uniforme, y debe asegurar una correcta dosificación, cuidando especialmente de que en las válvulas no existan fugas, goteos ni obstrucciones.

En el caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación deberá contar con un sistema de dosificación específico.

En el caso de la fabricación de la grava-emulsión in situ, ésta se realizará por medio de equipos específicos cuyas características deben ser definidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. En todo caso se debe garantizar con ellos una dosificación suficientemente precisa y homogénea y una buena envuelta de los materiales. Estos equipos deben realizar las operaciones de dosificación, distribución de la emulsión bituminosa y del agua, mezcla y extensión en continuo, sin intervención manual. No deben presentar fugas, goteos ni obstrucciones, ni presentar desgastes o suciedad en sus elementos.

El Director de las Obras aprobará el equipo de fabricación, una vez realizadas las pruebas de producción y comprobadas la correcta dosificación y homogeneización de la mezcla.

4.2 Elementos de transporte.

Si la grava-emulsión se fabrica fuera de la traza, se dispondrán elementos de transporte consistentes en camiones volquetes de caja abierta, lisa y estanca, perfectamente limpia y que se tratará, para evitar que la grava-emulsión se adhiera a ella, con un producto cuya composición y dotación deberán ser aprobadas por el Director de las Obras.

La forma y la altura de la caja de los camiones deberán ser tales que, si el vertido se realiza en la tolva de una extendedora, el camión sólo toque a ésta a través de los rodillos previstos al efecto.

Los medios de transporte deberán estar adaptados en todo momento al ritmo de ejecución de la obra y a la capacidad del equipo de extensión, con el fin de reducir las paradas al mínimo. Deberán disponer de una lona que cubra totalmente la caja del camión, para su empleo en la protección de la mezcla.

4.3 Equipos de extensión.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares establecerá el tipo y las características del equipo de extensión.

Los equipos, incluidos los empleados en una eventual fabricación in situ, estarán dotados de los dispositivos necesarios para extender la grava-emulsión con la anchura, el espesor y la configuración definidos en los Planos del Proyecto. Su capacidad y su potencia motriz serán las adecuadas a la producción prevista.

Se emplearán preferentemente extendedoras autopropulsadas. En el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares se indicará si se admite el empleo de motoniveladora, que en todo caso deberá ir provista de placas laterales.

Las extendedoras deberán estar dotadas de un dispositivo automático de nivelación. Se comprobará, en su caso, que los ajustes del enrasador y de la maestra se atienen a las tolerancias mecánicas especificadas por el fabricante, y que dichos ajustes no han sido afectados por el desgaste o por otras causas.

Las anchuras máxima y mínima de la extensión se fijarán en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. Si a la extendedora se pudieran acoplar piezas para aumentar su anchura, éstas deberán quedar perfectamente alineadas con las originales.

4.4 Equipo de compactación.

Se podrán utilizar compactadores de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios, de neumáticos o mixtos. La composición mínima del equipo será un (1) compactador vibratorio y un (1) compactador de neumáticos. Si la tongada que se está compactando tiene en algún punto un espesor igual o superior a doce centímetros (12 cm), los compactadores vibratorios deben tener como mínimo una masa de

diecisiete toneladas (17 t) y la masa de los compactadores de neumáticos no debe ser inferior a treinta y cinco toneladas (35 t).

Todos los tipos de compactadores deberán ser autopropulsados, tener inversores de sentido de marcha de acción suave, y estar dotados de dispositivos para la limpieza de sus llantas o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario.

Los compactadores de llantas metálicas no presentarán surcos ni irregularidades en ellas. Los compactadores vibratorios tendrán dispositivos automáticos para eliminar la vibración al invertir el sentido de su marcha. Los de neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y configuración tales que permitan el solape de las huellas de las ruedas delanteras con las traseras.

Las presiones de contacto, estáticas o dinámicas, de los diversos tipos de compactadores serán aprobadas por el Director de las Obras, y serán las necesarias para conseguir una compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, sin producir roturas del árido ni arrollamientos de la mezcla.

En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales, se emplearán otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretende realizar.

5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

5.1 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.

La ejecución de la mezcla no se iniciará hasta que se haya aprobado por el Director de las Obras la correspondiente fórmula de trabajo, estudiada en laboratorio y verificada en la central de fabricación.

Dicha fórmula señalará:

- La identificación y proporción de cada fracción del árido en la mezcla.
- La granulometría de los áridos combinados, incluido el polvo mineral, por los tamices establecidos en la definición del huso granulométrico dada en el presente artículo.
- El tipo de emulsión bituminosa y la proporción en masa de ligante residual y en su caso la de polvo mineral de aportación, referidas ambas a la masa del árido seco.
- La proporción en masa de agua de envuelta, respecto a la masa del árido seco.
- La densidad máxima y el contenido óptimo de fluidos (agua más emulsión bituminosa) del Proctor modificado, según la UNE 103501.

- El valor mínimo de la densidad a obtener.
- Los tiempos exigidos para la mezcla de los áridos con el agua de envuelta y para la mezcla con el ligante.

La proporción mínima de agua para la envuelta se determinará visualmente, de forma que sea posible obtener una buena dispersión de la emulsión. El contenido óptimo de fluidos para la compactación se determinará por medio del ensayo Proctor modificado, según la UNE 103501. Estas proporciones se ajustarán durante la ejecución del tramo de prueba.

La proporción necesaria de ligante residual en la grava-emulsión se determinará mediante el ensayo de inmersión-compresión, según la norma NLT-162, de acuerdo con las exigencias especificadas en la tabla 6 dependiendo de la categoría de tráfico pesado. Todas las probetas, fabricadas y compactadas según la NLT-161, se curarán durante tres (3) días a cincuenta grados Celsius (50 °C).

TABLA 6 - VALORES MÍNIMOS DE RESISTENCIAS EN EL ENSAYO DE INMERSIÓN-COMPRESIÓN (NLT-162)

CATEGORÍA DEL TRÁFICO PESADO	CALZADA			ARCÉN		
	EN SECO (MPa)	TRAS INMERSIÓN (MPa)	CONSERVADA (%)	EN SECO (MPa)	TRAS INMERSIÓN (MPa)	CONSERVADA (%)
T2 o superior	1,5	1,2	75	0,9	0,7	50
T3	1,2	1,0	60	0,8	0,6	-
T4	0,9	0,7	50	0,8	0,6	-

Si la marcha de las obras lo aconsejase, el Director podrá exigir la corrección de la fórmula de trabajo, con objeto de mejorar la calidad de la mezcla, justificándolo debidamente mediante un nuevo estudio y los ensayos oportunos. Se estudiará y aprobará una nueva fórmula siempre que varíe la procedencia de alguno de los componentes, o si durante la producción se rebasan las tolerancias granulométricas establecidas en este artículo.

5.2 Preparación de la superficie existente.

Se comprobarán la regularidad superficial y el estado de la superficie sobre la que se fuera a extender la grava-emulsión, o el árido en el caso de que la grava-emulsión se vaya a ejecutar in situ. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, indicará las medidas encaminadas a restablecer una regularidad superficial aceptable y, en su caso, a reparar zonas dañadas.

Si la superficie existente estuviese constituida por un material no tratado, se aplicará sobre ella un riego de imprimación (artículo 530 del PG-3); en el caso de una superficie tratada con un ligante o conglomerante, se aplicará un riego de adherencia (artículo 531 del PG-3). Los riegos se realizarán con arreglo a las prescripciones de los artículos correspondientes del PG-3 y del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Se comprobará que haya transcurrido el plazo de rotura o de curado de estos riegos, no debiendo quedar restos de fluidificante ni de agua en la superficie; asimismo, si hubiera transcurrido mucho tiempo desde su aplicación, se comprobará que su capacidad de unión con la grava-emulsión no hubiera disminuido en forma apreciable; en caso contrario, el Director de las Obras podrá ordenar una nueva aplicación.

5.3 Aprovisionamiento de áridos.

El volumen mínimo de acopios antes de iniciar la producción será fijado por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. En el caso de obras pequeñas, con un volumen total inferior a quinientos metros cúbicos (500 m³), antes de empezar la fabricación deberá estar acopiada la totalidad de los áridos. En obras de mayor tamaño, el volumen a exigir en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares será el treinta por ciento (30 %) como mínimo.

Cada fracción de árido se acopiará separada de las demás para evitar contaminaciones entre ellas. Si los acopios se dispusiesen sobre el terreno natural, no se utilizarán sus quince centímetros (15 cm) inferiores. Los acopios se construirán por capas sensiblemente horizontales de espesor no superior a un metro y medio (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocarán adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro de los áridos, se acopiarán por separado hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se aplicará cuando se autorice el cambio de procedencia de un árido.

5.4 Fabricación de la grava-emulsión

Cuando la grava-emulsión se fabrique en central, la carga de las tolvas de áridos se realizará de forma que estén siempre llenas entre el cincuenta y el cien por cien (50

a 100 %) de su capacidad, sin llegar a rebosar. En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las salidas de las tolvas y los dosificadores de áridos se regularán de forma que se obtenga la granulometría de la fórmula de trabajo con el caudal necesario para la producción prevista.

Si la central es de tipo continuo, se introducirán en el mezclador los áridos y, de forma sucesiva, las proporciones de agua y de emulsión establecidas.

Si la instalación es de tipo discontinuo, después de haber introducido en el mezclador los áridos, se agregarán el agua y la cantidad de emulsión precisas para cada amasada, con el intervalo de tiempo apropiado, y se continuará la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

Una vez realizadas las pruebas de producción y comprobada la correcta dosificación y homogeneización de la mezcla, el Director de las Obras aprobará el equipo de fabricación.

En el caso de utilizar instalaciones móviles, el Director de las Obras comprobará que el equipo reúne las condiciones necesarias para realizar una mezcla con la composición y homogeneidad requeridas.

5.5 Acopio de la grava-emulsión.

La grava-emulsión fabricada en central se podrá almacenar en silos o en pilas convenientemente dispuestos y, en su caso, protegidos de la intemperie. El tiempo de almacenamiento del material preparado vendrá fijado por la pérdida de humedad.

5.6 Transporte de la grava-emulsión.

La grava-emulsión se transportará hasta el lugar de empleo evitando la segregación y la variación del contenido de humedad durante la operación de transporte.

Cualesquiera que sean las condiciones climáticas, se protegerá la mezcla con un cobertor adecuado que cubra totalmente la caja del camión.

5.7 Extensión de la grava-emulsión.

A menos que el Director de las Obras permita otro procedimiento, la extensión comenzará por el borde inferior, y se realizará por franjas longitudinales. La anchura de estas franjas se fijará de manera que se consiga la mayor continuidad de la extensión teniendo en cuenta la anchura de la sección, el eventual mantenimiento de la circulación, las características del equipo de extensión y la producción de la central.

Si la extensión se lleva a cabo con extendedora, ésta se regulará de forma que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin segregaciones ni

arrastres, y con un espesor tal que, después de la compactación, se obtengan las rasantes y secciones definidas en los Planos del Proyecto, con las tolerancias establecidas en el presente artículo.

Si la extensión se efectúa con motoniveladora ésta deberá trabajar con la hoja llena, prácticamente perpendicular al eje de la carretera, con el fin de evitar segregaciones, y sin que la hoja toque la capa inferior.

En los procesos de ejecución in situ, el árido combinado se extenderá previamente, con extendedora o con motoniveladora. La máxima velocidad de avance del equipo específico utilizado para la incorporación del agua y de la emulsión bituminosa y para la mezcla y extensión será fijada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y en ningún caso podrá superar los diez metros por minuto (10 m/min).

Cualquiera que sea el procedimiento utilizado, la operación de extensión se detendrá si se observa que se produce segregación o contaminación o falta de uniformidad en la textura superficial, y se procederá a efectuar las correcciones necesarias para impedirlo.

En su caso, cada tongada se extenderá después de compactada y curada la tongada subyacente.

Si la grava-emulsión extendida presenta un contenido de fluidos superior al óptimo establecido para la compactación en la fórmula de trabajo, se dejará secar hasta alcanzar el contenido adecuado antes de empezar la operación de compactación.

5.8 Compactación de la grava-emulsión.

La compactación de la tongada se realizará según el método y con el equipo aprobados por el Director de las Obras de acuerdo con los resultados obtenidos en el tramo de prueba, continuándose hasta que se alcance en todo el espesor la densidad especificada en el apartado 7.1 del presente artículo.

La compactación se realizará de manera continua y sistemática. Si la extensión de la mezcla bituminosa se realiza por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior.

Los rodillos deberán llevar su rueda motriz del lado más cercano al equipo de extensión; los cambios de dirección se harán sobre mezcla ya compactada, y los cambios de sentido se efectuarán con suavidad. Se cuidará de que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos.

5.9 Juntas.

Se dispondrán juntas de trabajo transversales entre tramos ejecutados en distintas jornadas.

Las juntas de trabajo transversales, se dispondrán de forma que su borde quede vertical, recortando parte de la capa terminada. Se aplicará en la junta una capa uniforme y ligera de emulsión bituminosa, antes de reanudar la extensión de la grava-emulsión.

Si se trabaja por fracciones de la anchura total, se dispondrán juntas longitudinales si transcurre más de una jornada entre la extensión de franjas contiguas. Estas juntas se localizarán bajo alguno de los bordes de los carriles.

Si se construye en varias tongadas, las juntas de tongadas superpuestas guardarán una separación mínima de cinco metros (5 m) entre las juntas transversales y de quince centímetros (15 cm) entre las juntas longitudinales.

5.10 Terminación.

Se eliminarán los excesos laterales que no tengan la compactación adecuada, excepto si forman parte del talud exterior de la plataforma, en cuyo caso se tratarán según lo establecido en los artículos correspondientes del PG-3 y del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Al abrir al tráfico, lo que en ningún caso se hará antes de la rotura de la emulsión, aquél se distribuirá de forma que no se concentren las rodadas en una sola franja.

En el caso de que se prevean lluvias u otras condiciones desfavorables que pudieran comportar el riesgo de deterioros superficiales, el Director de las Obras decidirá si procede la ejecución de un riego de protección superficial, mediante la aplicación de un riego de emulsión bituminosa y un posterior enarenado.

El riego de protección, si es necesario, se ejecutará utilizando una emulsión del tipo ECR-1, según el artículo 213 del PG-3, diluida en agua de forma que la concentración de ligante residual sea del treinta por ciento (30 %). La dotación de ligante residual en el riego estará comprendida entre doscientos y trescientos gramos por metro cuadrado (200 a 300 g/m²).

El árido de cobertura a emplear procederá totalmente de trituración. La totalidad del árido deberá pasar por el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2, y no contener más de un quince por ciento (15%) de partículas inferiores al tamiz 0,063 mm de la UNE-EN 933-2, según la UNE-EN 933-1. Deberá estar exento de suciedad, terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas. Su equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8, deberá ser superior a cuarenta (40). Deberá ser no plástico, según la UNE 103104. Su dotación será fijada por el Director de las Obras, y en ningún caso será inferior a tres litros por metro cuadrado (3 l/m²).

6 TRAMO DE PRUEBA.

Antes de iniciarse la puesta en obra de la grava-emulsión será preceptiva la realización de un tramo de prueba, para comprobar la fórmula de trabajo, la forma de actuación de los equipos y, especialmente, el plan de compactación.

La longitud del tramo de prueba será fijada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. El Director de las Obras determinará si es aceptable la realización del tramo de prueba como parte integrante de la obra en construcción.

A la vista de los resultados obtenidos, el Director de las Obras definirá:

- Si es aceptable o no la fórmula del trabajo. En el primer caso se podrá iniciar la fabricación de la grava-emulsión. En el segundo deberá proponer las actuaciones a seguir: estudio de una nueva fórmula, corrección parcial de la ensayada, correcciones en el equipo de fabricación o en el proceso de extensión, etc.)
- Si son aceptables o no los equipos propuestos por el Contratista. En el primer caso, se aprobará su forma específica de actuación. En el segundo caso, el Contratista deberá proponer nuevos equipos o incorporar equipos suplementarios o sustitutorios.

Asimismo, durante la ejecución del tramo de prueba se analizarán los aspectos siguientes:

- La correlación, en su caso, entre los métodos de control de la dosificación del ligante hidrocarbonado y de la densidad in situ establecidos en los Pliegos de Prescripciones Técnicas y otros métodos rápidos de control.
- Las relaciones entre el contenido de fluidos y la densidad alcanzada.
- Las relaciones entre el número de pasadas y la densidad alcanzada por el equipo de compactación.

No se podrá proceder a la producción sin que el Director de las Obras haya autorizado su inicio en las condiciones aceptadas después del tramo de prueba.

7 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA.

7.1 Densidad.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará la densidad de la tongada tras el proceso de compactación, la cual no deberá ser inferior al noventa y ocho por ciento (98%) de la densidad máxima Proctor modificado, según la UNE 103501, definida en la fórmula de trabajo.

7.2 Espesor y anchura.

La superficie acabada no deberá diferir de la teórica en más de quince milímetros (15 mm).

El espesor de una capa no deberá ser inferior al previsto para ella en los Planos de secciones tipo del Proyecto.

En todos los semiperfiles se comprobará la anchura extendida, que en ningún caso deberá ser inferior a la teórica deducida de los Planos de secciones tipo del Proyecto.

7.3. Regularidad superficial.

Salvo que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares estableciere unas mayores exigencias, el índice de regularidad superficial (IRI), según la NLT-330, de la capa terminada deberá cumplir lo fijado en la tabla 7. Podrá no exigirse esta característica si se emplea el huso granulométrico GE3 definido en el apartado 3 de este artículo.

TABLA 7 - ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) (dm/hm)
PARA FIRMES DE NUEVA CONSTRUCCIÓN

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	IRI
50	< 2,0
80	< 2,5
100	< 3,0

8 LIMITACIONES EN LA EJECUCIÓN.

La grava-emulsión se ejecutará cuando no existan precipitaciones atmosféricas ni se prevean heladas, y la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a cinco grados Celsius (5 °C).

9 CONTROL DE CALIDAD.

9.1 Control de procedencia de los materiales.

9.1.1 Control de procedencia de la emulsión bituminosa.

La emulsión bituminosa deberá cumplir las especificaciones establecidas en el apartado 213.4 del artículo 213 del PG-3 o en el apartado 216.4 del artículo 216 del PG-3, según el tipo de emulsión bituminosa que se emplee.

9.1.2 Control de procedencia de los áridos.

Si con los áridos se aportara certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo o estuviese en posesión de una marca, sello o distintivo de calidad reconocido por la Administración Pública competente, según lo indicado en el apartado 12, los criterios descritos a continuación para realizar el control de procedencia de los áridos no serán de aplicación obligatoria, sin perjuicio de las facultades que corresponden al Director de las Obras.

En el supuesto de no cumplirse las condiciones indicadas en el párrafo anterior, de cada procedencia del árido, y para cualquier volumen de producción previsto, se tomarán cuatro (4) muestras, según la UNE-EN 932-1, y de cada fracción de ellas se determinará:

- El coeficiente de desgaste de Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2.
- La densidad relativa y la absorción del árido grueso y del árido fino, según la UNE-EN 1097-6.
- La adhesividad, según las NLT-355 y NLT-162.
- La granulometría de cada fracción, según la UNE-EN 933-1.
- El equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8 y, en su caso, el índice de azul de metileno, según la UNE-EN 933-9.

El Director de las Obras podrá ordenar la repetición de estos ensayos con nuevas muestras, y la realización de los siguientes ensayos adicionales:

- La proporción de elementos del árido grueso con dos (2) o más caras fracturadas, según la UNE-EN 933-5.
- La proporción de impurezas del árido grueso, según el anexo C de la UNE 146130

El Director de las Obras comprobará, además:

- La retirada de la eventual montera en la extracción de los áridos.
- La exclusión de vetas no utilizables.
- La adecuación de los sistemas de trituración y clasificación.

9.2 Control de calidad de los materiales.

9.2.1 Control de calidad de la emulsión bituminosa.

La emulsión bituminosa deberá cumplir las especificaciones establecidas en el apartado 213.5 del artículo 213 del PG-3 o en el apartado 216.5 del artículo 216 del PG-3, según el tipo de emulsión bituminosa a emplear.

9.2.2 Control de calidad de los áridos.

Se examinará la descarga en el acopio o la alimentación de las tolvas, desechando los áridos que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo. Se acopiarán aparte los que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, lascas, plasticidad, etc.

Se vigilará la altura de los acopios y el estado de sus separadores, así como el estado de sus accesos.

Con cada fracción de árido que se produzca o reciba se realizarán los siguientes ensayos:

Al menos dos (2) veces al día:

- Granulometría, según la UNE-EN 933-1.
- Equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8 y, en su caso, el índice de azul de metileno, según la UNE-EN 933-9.

Al menos una (1) vez a la semana, o cuando se cambie el suministro de una procedencia aprobada:

- Índice de lascas del árido grueso, según la UNE-EN 933-3.
- Proporción de elementos del árido grueso con dos (2) o más caras de fractura, según la UNE-EN 933-5.
- Proporción de impurezas del árido grueso, según el anexo C de la UNE 146130

Al menos una (1) vez al mes, o cuando se cambie de procedencia:

- Coeficiente de desgaste de Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2.
- Densidad relativa y absorción del árido grueso y del árido fino, según la UNE-EN 1097-6.

9.2.3 Control de calidad del polvo mineral de aportación.

En cada partida que reciba se realizarán los siguientes ensayos:

Al menos una (1) vez al día:

- Densidad aparente, según la NLT-176.

9.3 Control de ejecución.

9.3.1 Fabricación.

Se tomará diariamente, según la UNE-EN 932-1, un mínimo de dos (2) muestras, una por la mañana y otra por la tarde, de la mezcla de áridos, y con ellas se efectuarán los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico del árido combinado, según la UNE-EN 933-1.
- El equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8 y, en su caso, el índice de azul de metileno, según la UNE-EN 933-9.

En centrales de mezcla continua se calibrará al menos una vez a la semana el flujo de la cinta suministradora de áridos.

Al menos semanalmente se verificará la exactitud de las básculas de dosificación, si las hubiere.

Se tomarán muestras en la descarga del mezclador, y con ellas se efectuarán los siguientes ensayos:

- Control del aspecto de la mezcla en cada elemento de transporte.
- Al menos dos (2) veces al día (mañana y tarde), y al menos una (1) vez por lote, contenido de ligante residual, según la UNE-EN 12697-1, y granulometría de los áridos extraídos, según la UNE-EN 12697-2.
- Al menos una (1) vez a la semana, o cuando haya variaciones en el suministro de los áridos o en la procedencia de la mezcla o se detecten cambios en su aspecto, ensayo de inmersión-compresión, según la NLT-162.

Si se emplean plantas móviles o equipos específicos de ejecución in situ, las muestras para los anteriores ensayos se tomarán a la salida del elemento de extensión.

Las tolerancias admisibles respecto a la fórmula de trabajo, en proporción sobre la masa del árido seco, serán las de la tabla 9.

TABLA 9 – TOLERANCIAS EN LA FÓRMULA DE TRABAJO SEGÚN LA CATEGORÍA DEL TRÁFICO PESADO (% en masa)

CARACTERÍSTICA		Calzadas con T3 o superior	Arcenes con T2 o superior Calzadas con T4	Resto y GE3
Tamices	> 2 mm	± 4	± 6	± 8
	≤ 2 mm y > 0,063 mm	± 3	± 3	± 6
	0,063 mm	± 1	± 1,5	± 2
Ligante residual		± 0,3	± 0,3	± 0,3
Fluidos totales de compactación		-1,5 a +1	-1,5 a +1	-1,5 a +1

9.3.2 Puesta en obra.

9.3.2.1 Extensión.

Antes de verter la mezcla desde el elemento de transporte, se comprobará su aspecto y homogeneidad.

Se comprobará frecuentemente el espesor extendido mediante un punzón graduado.

9.3.2.2 Compactación.

Se comprobará la composición y la forma de actuación del equipo de compactación, verificando:

- Que el número y el tipo de compactadores son los aprobados.
- El funcionamiento de los dispositivos de humectación, limpieza y protección.
- El lastre y la masa total de los compactadores.
- La presión de inflado en los compactadores de neumáticos.
- La frecuencia y la amplitud de la vibración en los compactadores vibratorios.
- El número de pasadas de cada compactador.

9.4 Control de recepción de la unidad terminada.

Se considerará como lote, que se aceptará o rechazará en bloque, al menor que resulte de aplicar los tres (3) criterios siguientes a una (1) sola capa de grava-emulsión:

- Quinientos metros (500 m).
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²).
- La fracción construida diariamente.

Dispuestas estacas de refino, niveladas hasta milímetros (mm) con arreglo a los Planos, en el eje, quiebros de peralte si existieran, y bordes de perfiles transversales cuya separación no exceda de la mitad (1/2) de la distancia entre los perfiles del Proyecto, se comparará la superficie acabada con la teórica que pase por la cabeza de dichas estacas.

En todos los semiperfiles se comprobará la superficie extendida y compactada.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará, para cada caso, los ensayos y determinaciones sobre la regularidad superficial.

10 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO.

10.1 Densidad.

La densidad media obtenida no deberá ser inferior a la especificada en el apartado 7.1; no más de tres (3) individuos de la muestra ensayada podrán presentar resultados individuales inferiores en dos (2) puntos porcentuales a aquella densidad media.

Si la densidad media obtenida es inferior a la especificada en el apartado 7.1, se procederá de la siguiente manera:

- Si la densidad media obtenida es inferior al noventa y cinco por ciento (95 %) de la densidad de referencia, se levantará la capa de grava-emulsión correspondiente al lote controlado y se repondrá por cuenta del Contratista.
- Si la densidad media obtenida no es inferior al noventa y cinco por ciento (95 %) de la densidad de referencia se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10 %) a la capa de grava-emulsión correspondiente al lote controlado.

10.2 Espesor

El espesor medio obtenido no deberá ser inferior al especificado en el apartado 7.2; no más de tres (3) individuos de la muestra ensayada podrán presentar resultados individuales que bajen del especificado en más de un diez por ciento (10 %).

Si el espesor medio obtenido en una capa fuera inferior al especificado en el apartado 7.2., se procederá de la siguiente manera:

- Si el espesor medio obtenido fuera inferior al ochenta por ciento (80%) del especificado en el apartado 7.2, se rechazará la capa debiendo el Contratista levantar la capa y reponerla por su cuenta, o extender de nuevo otra capa de espesor igual al inicialmente prescrito sobre la rechazada si no existieran problemas de rasantes.
- Si el espesor medio obtenido fuera superior al ochenta por ciento (80%) del especificado en el apartado 7.2, se compensará la merma de la capa, por cuenta del Contratista, siguiendo las indicaciones del Director de las Obras.

10.3 Regularidad superficial.

Si las irregularidades de la superficie acabada superan los límites establecidos, el Director de las Obras rechazará el lote, o especificará los medios y métodos de reparación. El Contratista deberá optar entre realizar estas correcciones a su cargo, o demoler el lote y retirarlo a vertedero.

11 MEDICIÓN Y ABONO.

Únicamente cuando la capa de asiento no fuera construida bajo el mismo Contrato, se podrá abonar la comprobación y, en su caso, reparación de la superficie existente por metros cuadrados (m²) realmente ejecutados.

La preparación de la superficie existente no es objeto ni está incluida en esta unidad de obra. Los riegos de imprimación o de adherencia se abonarán según lo prescrito en los artículos 530 y 531, respectivamente, del PG-3.

La fabricación y puesta en obra de la grava-emulsión se abonará por metros cúbicos (m³), obtenidos multiplicando las anchuras de las secciones tipo señaladas en los Planos por la longitud realmente ejecutada y por los espesores medios deducidos de los ensayos de control de cada lote. Este abono incluye los áridos, el agua, los aditivos y todas las operaciones de acopio, preparación, fabricación, puesta en obra y terminación. No serán de abono las creces laterales, ni las consecuentes de la aplicación de la compensación de la merma de espesores de capas subyacentes que excedan las tolerancias establecidas para esas capas.

Salvo en capas de regularización de firmes construidos bajo otro contrato, no serán de abono los excesos de espesor que superen el diez por ciento (10 %) del previsto en los Planos de secciones tipo del Proyecto.

La emulsión bituminosa empleada en la fabricación de la grava-emulsión se abonará por toneladas (t), obtenidas aplicando, a la medición abonable de fabricación y puesta en obra, la dosificación media deducida de los ensayos de control de cada lote.

El riego de protección, en su caso, se abonará según las prescripciones del artículo del Pliego dedicado a los riegos con gravilla.

12 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISTINTIVOS DE CALIDAD.

El cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias requeridas a los productos contemplados en este artículo se podrá acreditar por medio del correspondiente certificado que, cuando dichas especificaciones estén establecidas exclusivamente por referencia a normas, podrá estar constituido por un certificado de conformidad a dichas normas.

Si los referidos productos disponen de una marca, sello o distintivo de calidad que asegure el cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo, se aceptará como tal cuando dicho distintivo esté reconocido por la Administración Pública competente.

El certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo podrá ser otorgado por las Administraciones Públicas competentes en materia de carreteras o por los Organismos españoles públicos y privados autorizados para realizar tareas de certificación o ensayos en el ámbito de los materiales, sistemas y procesos industriales, conforme al Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre.

NORMAS REFERENCIADAS.

NLT-161	Resistencia a compresión simple de mezclas bituminosas.
NLT-162	Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas bituminosas compactadas (ensayo de inmersión-compresión).
NLT-168	Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas.
NLT-176	Densidad aparente del polvo mineral en tolueno.
NLT-330	Cálculo del índice de regularidad internacional (IRI) en pavimentos de carreteras.
NLT-355	Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (procedimiento Riedel-Weber).

UNE 103103	Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.
UNE 103104	Determinación del límite plástico de un suelo.
UNE 103501	Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.
UNE 146130	Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras áreas pavimentadas (esta norma no está vigente, salvo en lo que se refiere a los anexos C y D, el primero de los cuales es citado en estas prescripciones técnicas).
UNE-EN 932-1	Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 1: Métodos de muestreo
UNE-EN 933-1	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado.
UNE-EN 933-2	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.
UNE-EN 933-3	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas.
UNE-EN 933-5	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 5: Determinación del porcentaje de caras de fractura de las partículas de árido grueso.
UNE-EN 933-8	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 8: Evaluación de los finos. Ensayos del equivalente de arena.
UNE-EN 933-9	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 9: Evaluación de los finos. Ensayo de azul de metileno.
UNE-EN 1097-2	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación.

- UNE-EN 1097-6 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua.
- UNE-EN 1744-3 Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 3: Preparación de eluatos por lixiviación de áridos.
- UNE-EN 12697-1 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 1: Contenido de ligante soluble.
- UNE-EN 12697-2 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas.