

Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco

Edición ampliada y revisada. Noviembre 2012

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

ETXEBIOTZA, HERRI LAN
ETA GARRAIO SAILA

DEPARTAMENTO DE VIVIENDA
OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE

Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco

Edición revisada y ampliada. Noviembre 2012



Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia
Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco

Vitoria-Gasteiz, 2012

Un registro bibliográfico de esta obra puede consultarse en el catálogo de la Biblioteca General del Gobierno Vasco: <http://www.bibliotekak.euskadi.net/WebOpac>

Edición

1.^a septiembre de 2006

2.^a, revisada y ampliada, noviembre 2012

Tirada

300 ejemplares



Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco
Departamento de Vivienda, Obras Públicas y Transportes

Internet

www.euskadi.net

Edita

Eusko Jauriaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia
Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco
Donostia-San Sebastián, 1 • 01010 - Vitoria-Gasteiz

**Diseño
y maquetación**
ekipoPO

Depósito Legal

VI 502-2012

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	9
2. ÁMBITO DE APLICACIÓN	11
3. JERARQUIZACIÓN DE LA RED	13
4. CONSIDERACIONES GENERALES	15
Introducción	15
Análisis del tráfico	15
Caracterización geotécnica de los terrenos	15
Id da mejorada	16
Diseño de los firmes	16
Utilización de secciones alternativas de firme	17
Programación de la obra para la correcta ejecución del firme	17
5. TRÁFICO DE PROYECTO	19
Categoría de tráfico de proyecto	19
Cálculo del tráfico de proyecto	20
6. EXPLANADA MEJORADA	25
Categoría de explanada	25
Catálogo de secciones	25
Características de los materiales	26
Unidad terminada	28
Criterios de proyecto	29
7. MATERIALES PARA EL FIRME	33
Mezclas bituminosas en caliente	33
Mezclas bituminosas en frío	34
Tratamientos superficiales con gravilla	35
Gravacemento	39
Suelocemento	39
Zahorra artificial	40
Riegos	40
8. CLIMA	43
Zona térmica estival	43
Zona climática	44

9. SECCIONES DE FIRME EN CALZADA	45
Catálogo de secciones	45
Comparación de secciones	54
Secciones alternativas	54
10. SECCIONES DE FIRME EN ARCENES	57
11. SECCIONES DE FIRMES ESPECIALES	59
Travesías	59
Túneles	60
Obras de paso	61
Ensanches de calzada	62
Firmes provisionales	63
Zonas de estacionamiento y parada	64
Lechos de frenado	66
12. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	69
Disposición transversal	69
Variación de secciones entre carriles	70
Drenaje de las capas de firme	71
13. DEFINICIONES	75
ANEJO 1. ESTUDIOS DE TRÁFICO	79
Intensidad del tráfico pesado (IMD_p)	79
Coeficiente de ponderación γ_T	80
Factor de crecimiento del tráfico (F)	82
Ejemplos	84
ANEJO 2. ESCENARIOS DE CONSERVACIÓN	87
ANEJO 3. ÁRIDOS SIDERÚRGICOS DE HORNO ELÉCTRICO PARA MEZCLAS BITUMINOSAS	91
Definición	91
Características generales	91
Árido grueso	92
Árido fino	92
Tipo y composición de la mezcla	92
Control de calidad	93
ANEJO 4. ÁRIDOS SIDERÚRGICOS DE HORNO ELÉCTRICO PARA ZAHORRAS	94
Definición	94
Características generales	94

Tipo y composición de la mezcla	95
Control de calidad	95
ANEJO 5. ÁRIDOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN PARA ZAHORRAS	97
Definición	97
Características generales	97
Control de calidad	99
ANEJO 6. ÁRIDOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN COMO SUELOS SELECCIONADOS PARA TERRAPLENES Y EXPLANADAS MEJORADAS	102
Definición	102
Características generales	102
Control de calidad	104
COMISIÓN DEL PLAN GENERAL DE CARRETERAS DEL PAIS VASCO	111

1. INTRODUCCIÓN

En la Comunidad Autónoma Vasca se da una elevada movilidad de personas y mercancías, generada, de un lado, por la ubicación geográfica de Euskadi respecto de Europa y el resto de la Península Ibérica, situada entre el Eje Atlántico y el Valle del Ebro y en el eje de comunicación Norte-Sur con Europa, que determinan que sea un territorio de paso obligatorio en la red de comunicaciones estatal y europea, y, de otro, por la intensa actividad económica con un importante peso relativo del sector industrial, consecuencia en parte de esta posición estratégica. Esta movilidad es absorbida en su mayor parte por la carretera, por lo que un elevado porcentaje de la red soporta tráfico muy alto. Por otro lado, muchas relaciones intercomarcales y locales se canalizan a través de vías con baja intensidad de tráfico.

La peculiar distribución del tráfico, unido a las especiales características climatológicas, terrenos existentes, disponibilidad de materiales y la experiencia desarrollada por las administraciones competentes en la gestión y explotación de las carreteras, conducen a plantear la necesidad de una norma técnica propia de dimensionamiento de firmes.

En virtud de lo dispuesto en el art. 7.a.8) de la Ley 27/1983 de 25 de noviembre, los Órganos Forales de los Territorios Históricos de Álava, Bizkaia y Gipuzkoa ostentan la competencia de planificación, proyecto, construcción, conservación, modificación, financiación, uso y explotación de carreteras que transcurren por su territorio, con la excepción de las autopistas en régimen de concesión estatal. Sin embargo, dado el carácter de continuidad e interrelación de la red viaria, y al objeto de asegurar la debida coordinación entre las redes del País Vasco que, atendiendo a la importancia de tráfico, son prolongación de las redes de otras administraciones limítrofes o de conexión de los Territorios Históricos entre sí, la Ley 27/1983 establece que corresponde, de un lado, al Gobierno Vasco la aprobación del denominado Plan General de Carreteras del País Vasco, y de otro, a los Territorios Históricos contemplar las previsiones, objetivos, prioridades y mejoras que se recojan en dicho Plan General de Carreteras. Este documento de planificación establece las normas técnicas que se pondrán en vigor en las redes de carreteras de las administraciones vascas.

La Norma Técnica para el dimensionamiento de secciones de firme de la red de carreteras de los Territorios Históricos del País Vasco, aprobada por Orden de la Consejera de Transportes y Obras Públicas de la Comunidad Autónoma del País Vasco, de 12 de julio de 2007, ha sido el resultado del trabajo realizado por la Comisión del Plan General de Carreteras del País Vasco mediante una comisión de seguimiento integrada por técnicos del Gobierno Vasco, las Diputaciones Forales de Álava, Bizkaia y Gipuzkoa y el CEDEX, en el marco de un convenio de colaboración entre el Gobierno Vasco y el Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX. Antes de su redacción definitiva el documento fue sometido al análisis de una comisión de expertos a nivel nacional constituida ex profeso e integrada por técnicos de probada experiencia en el diseño y construcción de firmes de carreteras.

En la Norma se dan los criterios básicos a seguir para el proyecto de firmes de nueva construcción en el País Vasco, así como para la reconstrucción total de los existentes.

Las soluciones de diseño se incluyen en una serie de catálogos de secciones, tanto para la constitución de los firmes como de las explanadas, de sencilla utilización por parte de

los proyectistas, y en los que se ofrece una amplia gama de soluciones con diferentes materiales. Además, se abordan de forma especial los detalles constructivos y se ofrecen soluciones específicas para firmes especiales que, por su singularidad, precisan de consideraciones adicionales para su diseño.

La elaboración de esta Norma se basó en dos pilares fundamentales. De un lado el diseño analítico de firmes y la experiencia ya existente al respecto, que permite optimizar el diseño de las secciones en base a consideraciones mecánico-empíricas. De otro, la experiencia en el País Vasco, a partir de un estudio del comportamiento de los firmes construidos por las Diputaciones Forales en los últimos veinte años. También se incorporaron a esta Norma los últimos desarrollos en la técnica de la construcción de carreteras que se han considerado de aplicación en el territorio.

Aprobada la Norma de firmes, ha sido voluntad de la Comisión del Plan efectuar un seguimiento continuo de su contenido, orientando el esfuerzo hacia el estudio del comportamiento de los firmes ejecutados de acuerdo con los nuevos criterios, el análisis y la incorporación en su caso de nuevos materiales y técnicas de construcción o innovaciones en los mismos, y en general a revisar y actualizar el contenido de manera que se acomode a los últimos avances tecnológicos y normativos.

El resultado de la revisión de esta Norma es el texto refundido que se presenta, en el que se mantiene la misma estructura y criterios básicos del original y se modifican parcialmente los aspectos trabajados en este periodo de seguimiento, que se concretan en:

- adaptación de la Norma a la normativa europea, Orden Circular 24/2008 para las mezclas bituminosas y Orden Circular 29/2011 para ligantes bituminosos y aglomerados en frío.
- revisión de las especificaciones de escorias de acería para su uso como áridos en firmes, como consecuencia de los resultados del Plan de ensayos realizados en carreteras del País Vasco por un plazo de dos años,
- incorporación de las secciones de firme de suelocemento para tráficos altos,
- incorporación de prescripciones técnicas para áridos de RCD como suelos seleccionados para terraplenes y explanadas y zahorras,
- consideración en la Norma de los diseños alternativos de firme,
- eliminación de las secciones de gravaescoria por desaparición en el mercado vasco de la escoria granulada.

2. ÁMBITO DE APLICACIÓN

El ámbito de aplicación de la presente Norma son los proyectos de firmes de carreteras de nueva construcción, y los de acondicionamiento o mejora de las existentes pertenecientes a la red de carreteras de los Territorios Históricos del País Vasco según se establece en la Norma Foral 20/1990 de carreteras del Territorio Histórico de Álava, de la Norma Foral 2/2011 de carreteras de Bizkaia y de la Norma Foral 1/2006 de carreteras y caminos de Gipuzkoa, en lo relativo a las carreteras y sus elementos funcionales. Todo ello en cumplimiento del artículo 7 de la Ley 2/1989, Reguladora del Plan General de Carreteras del País Vasco.

Se excluye del ámbito de esta Norma, las vías que constituyan la red interior municipal o local de comunicaciones, siempre que no se hallen expresamente calificadas como tramos urbanos de carreteras.

No será aplicable a los proyectos de rehabilitación de firmes de carreteras en servicio salvo en el caso de reconstrucción total del mismo.

No se contempla la construcción de firmes por etapas salvo en el caso de obras provisionales y siempre que esta solución esté contemplada en el proyecto.

Esta Norma sólo será válida para aquellos supuestos considerados explícitamente en la misma. Si se dieran otros, se deberán justificar las soluciones adoptadas manteniendo los principios y recomendaciones que se dan tanto en el texto normativo como en los documentos anejos. En cualquier caso, dichas justificaciones deberán ser aprobadas por la administración competente en cada caso.

3. JERARQUIZACIÓN DE LA RED

Las carreteras cuya titularidad corresponde a los Territorios Históricos del País Vasco se jerarquizan atendiendo a su funcionalidad en: Red de Interés Preferente, Red Básica, Red Comarcal y Red Local. Además, Álava incluye una jerarquía adicional: la Red Vecinal; así como Bizkaia: la red complementaria en el Área Metropolitana.

Red de interés preferente.- Constituida por autopistas, autovías y vías rápidas, y aquellas carreteras convencionales que se determinen, como:

- Itinerarios de tráfico de carácter internacional.
- Itinerarios de acceso a pasos fronterizos.
- Itinerarios que soporten tráficos interautonómicos importantes de largo recorrido.
- Itinerarios por los que discurre un volumen considerable de transportes pesados o carga apreciable de mercancías peligrosas, tanto exteriores como interiores.
- Accesos a puertos y aeropuertos de interés general.

Red básica.- Formada por autovías o carreteras convencionales que, sin pertenecer a la Red de Interés Preferente, constituyen:

- Conexión de comarcas vecinas de dos Territorios Históricos o con otras Comunidades Autónomas siempre que tengan tráfico importante.
- Vías estructurantes del Territorio Histórico, formando itinerarios completos.

Red complementaria.- Esta jerarquización tan solo está empleada en el ámbito metropolitano del Territorio Histórico de Bizkaia. Constituida por tramos urbanos de carretera que facilitan la transición entre los itinerarios de alta capacidad de las redes Básica y de Interés Preferente con las arterias urbanas.

Red comarcal.- Está constituida por aquellas carreteras que, sin un tráfico importante, comuniquen comarcas vecinas dentro del Territorio Histórico.

Red local.- La integrada por las carreteras que no pertenezcan a ninguna de sus clasificaciones anteriores. Además, en Álava se establecen matizaciones que la distinguen de la red vecinal

Red vecinal.- Esta jerarquización tan solo está empleada en el Territorio Histórico de Álava. Está constituida por las carreteras que no se hallen integradas en ninguna de las redes definidas en los apartados anteriores.

4. CONSIDERACIONES GENERALES

INTRODUCCIÓN

El dimensionamiento del firme de una carretera es función de las características de los terrenos sobre los que se va a apoyar y del tráfico que se prevé durante el período de proyecto. El dimensionamiento necesita de los siguientes estudios, que se incluirán en el Anejo de firmes del proyecto de construcción:

1. Análisis del tráfico que soportará el firme durante el período de proyecto
2. Caracterización geotécnica de los terrenos atravesados y definición de las obras de tierra.
3. Identificación de suelos y materiales disponibles para explanadas y capas de firme, incluyendo residuos o materiales secundarios
4. Definición de la Explanada Mejorada
5. Dimensionamiento de los firmes y selección de la capa de rodadura
6. Programación de la obra para la correcta ejecución del firme

ANÁLISIS DEL TRÁFICO

Se realizará de acuerdo con los criterios indicados en el capítulo 5 “Tráfico de proyecto” y en el anejo 1 “Estudios de tráfico”. Como resultado del estudio se determinará la IMD total de vehículos prevista en el año de puesta en servicio del tramo, el porcentaje de vehículos pesados, el Tráfico de Proyecto y la categoría de Tráfico de Proyecto.

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TERRENOS

Se reconocerá el terreno natural que atraviesa la traza. Se partirá de los mapas geológicos publicados por el Instituto Tecnológico y Geominero de España, estudios previos de corredores, etc., complementados con un estudio geológico de detalle que permita la identificación de las formaciones y una primera tramificación del trazado a escala 1:5.000. Para el estudio de detalle se efectuará una calicata por cada cambio de material, y al menos, una en cada 300 m con categorías de tráfico T2 o superiores (ver capítulo 5) o cada 500 m con categorías de tráfico inferiores. En los tramos en desmonte en los que no sea posible reconocer el terreno natural de cimiento del firme con calicatas se efectuará un sondeo mecánico cada 500 m o al menos uno por desmonte. Las calicatas y sondeos, o la definición de terraplenes, pedraplenes o todo-unos deberán permitir la caracterización del terreno subyacente al menos 2 m bajo el apoyo de la Explanada Mejorada.

Para el dimensionamiento de firmes es necesario que los suelos estén caracterizados mediante ensayos de identificación (granulometría, límites de Atterberg y humedad natural) y químicos (yesos, sulfatos y sales solubles y materia orgánica), complementados con la densidad máxima Proctor, el índice CBR, el hinchamiento libre y el asiento en ensayo de colapso. En desmontes, el índice CBR se podrá estimar a partir de resultados de ensayos SPT mediante correlaciones debidamente justificadas. Con estos datos se podrán definir los suelos como inadecuados o marginales, tolerables, adecuados o seleccionados según

el artículo 330 del PG-3 y las prescripciones complementarias señaladas en el Capítulo 6 “*Explanada Mejorada*”.

La traza se dividirá en zonas de terreno subyacente homogéneo, que deben tener una longitud mínima de 500 m. En el estudio geotécnico se incluirá un perfil geológico-geotécnico en el que se definan y caractericen los suelos encontrados, se realice la correspondiente tramificación en zonas, se señale el suelo característico de cada una, y se recoja la situación del nivel freático.

IDENTIFICACIÓN DE SUELOS Y MATERIALES DISPONIBLES

Se realizará un inventario de suelos y áridos disponibles en la zona, acompañando su caracterización y el volumen utilizable, y realizando una valoración del precio de adquisición, transporte y puesta en obra.

Se incluirán en el inventario los residuos o subproductos cuyas características hagan posible, técnica y económicamente, su utilización en la obra. Entre otros, las escorias de acería, los estériles de mina, las cenizas volantes, los neumáticos fuera de uso, los materiales reciclados de firme y los materiales procedentes de demolición.

SELECCIÓN DE LA EXPLANADA MEJORADA

La explanada mejorada se seleccionará de entre las predefinidas en el capítulo 6, en función del terreno subyacente, el tráfico esperado, el firme previsto, la experiencia existente y los suelos presentes en la zona.

La explanada mejorada se definirá en función de las zonas de terreno subyacente homogéneo de tal manera que se consigan tramos de proyecto de al menos 1 km con la misma categoría de explanada y, por tanto, con la misma sección de firme, salvo casos específicos debidamente justificados en los que sean aconsejables tramos menores.

DISEÑO DE LOS FIRMES

El firme se seleccionará entre las soluciones predefinidas incluidas en el capítulo 9 “*Secciones de firmes en Calzada*” en función del tráfico previsto y la explanada definida. En el catálogo de secciones de firme se han considerado diversas tipologías, y se ofrece un amplio abanico de soluciones de diseño. Para la selección de la solución más adecuada para el proyecto considerado, se tendrán en cuenta los materiales disponibles para ejecutar las distintas unidades de obra, las necesidades de drenaje, la experiencia en la zona, el tipo y comportamiento de los firmes adyacentes y los costes de construcción y conservación. El anejo de firmes del proyecto deberá incluir una propuesta justificada de los firmes seleccionados.

Los espesores indicados en el catálogo son espesores mínimos de proyecto, y se deberán exigir en los Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares para cada una de las unidades de obra.

La definición del firme a utilizar en los arcenes se presenta en el capítulo 10 “*Secciones de firme en arcenes*”, en función de la categoría de tráfico y del tipo de firme de la calzada. En el capítulo 11 “*Secciones de firmes especiales*” se recogen las recomendaciones para

el proyecto de firmes en zonas singulares, como travesías, túneles, tableros de obras de fábrica, ensanches de calzada, áreas de estacionamiento o parada, lechos de frenado o firmes provisionales, sometidas a acciones de tráfico o condiciones particulares.

En el capítulo 7 *“Materiales para el firme”* se incluyen los criterios para seleccionar los materiales más adecuados para cada sección de firme. Se abordan de forma especial los referentes al tipo y espesor de las capas de mezcla bituminosa. El clima se considera para la selección del tipo de betún a utilizar en las mezclas bituminosas y para la decisión sobre prefisuración de capas tratadas con cemento. Se han elaborado dos mapas, uno de Zona Térmica Estival y otro de Zona Climática en base a datos climáticos correspondientes a un período de treinta años, que se recogen en el capítulo 8 *“Clima”*.

En el capítulo 12 *“Aspectos constructivos”* se recogen diversas consideraciones constructivas y, en particular, los sobreanchos de construcción de las diferentes capas del firme y el uso de firmes de espesor variable para calzadas con dos o más carriles por sentido de circulación. También se dan directrices para el drenaje del firme.

UTILIZACIÓN DE SECCIONES ALTERNATIVAS DE FIRME

Aunque no se considera por sí misma una práctica recomendable, en ocasiones puede ser de interés utilizar diseños de firme distintos a los que figuran en las tablas del catálogo de soluciones predefinidas. Este es el caso de falta o abundancia de determinados materiales, empleo de residuos o materiales con características distintas a las consideradas en este documento, técnicas nuevas o de otras secciones con disposiciones de materiales que aquí no se contemplan. En estas situaciones se puede recurrir a diseños alternativos dimensionados mediante cálculos analíticos de acuerdo con las directrices incluidas en el capítulo 9 *“Secciones de firmes en calzada”*.

PROGRAMACIÓN DE LA OBRA PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN DEL FIRME

En el anejo de estudio de firmes del proyecto de construcción se señalarán los criterios a tener en cuenta en la organización de la obra para una correcta ejecución del firme.

Se planificarán, entre otras tareas, el desfase entre el movimiento de tierras y la ejecución del firme para permitir la estabilización de los asientos de los rellenos, la construcción de los terraplenes en los trasdoses de las obras de fábrica antes de las operaciones de ejecución de explanadas en las obras anexas, o la organización del tráfico de obra para evitar o minimizar la circulación sobre los suelos estabilizados o los materiales con cemento.

5. TRÁFICO DE PROYECTO

CATEGORÍA DE TRÁFICO DE PROYECTO

El Tráfico de Proyecto se define como el número acumulado de vehículos pesados que se prevé que circularán por el carril de proyecto durante el período de proyecto. El Tráfico de Proyecto se clasificará en categorías de acuerdo con la tabla 5.1, si bien, en la tabla A1.4 del anejo 1 se incluye una clasificación simplificada en función de la IMD de vehículos pesados en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio del tramo.

Tabla 5.1. Categorías de Tráfico de Proyecto

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

En el ámbito de esta Norma se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Salvo justificación, el periodo de proyecto para el dimensionamiento de las estructuras de firme será de 20 años.
- El carril de proyecto será aquel que presente mayor Tráfico de Proyecto.
- El carril de proyecto de las autopistas, autovías y carreteras de doble calzada se clasificará como mínimo con la categoría T1B.
- Si no se dispone de estimaciones de tráfico para las vías de servicio y los ramales, se clasificarán con tres categorías de tráfico menos que la definida para la vía principal. En el caso de los ramales de fin de autovía, conexiones directas entre vías de gran capacidad o vías de servicio en zonas industriales, se requerirá un estudio de tráfico específico.

CÁLCULO DEL TRÁFICO DE PROYECTO

El Tráfico de Proyecto se calculará mediante la siguiente expresión:

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

Donde,

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

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

γ_T Coeficiente de ponderación de las cargas de tráfico.

La valoración de los parámetros anteriores (IMD_p^{APS} , F y γ_T) se hará conforme a las directrices marcadas a continuación.

Todos los análisis y estudios realizados para la valoración del Tráfico de Proyecto figurarán en el correspondiente Anejo de tráfico del proyecto de construcción.

Intensidad del tráfico pesado (IMD_p^{APS})

Para estimar la Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en el año de puesta en servicio del tramo, se atenderá a lo siguiente:

- En vías de nueva construcción, la IMD de vehículos pesados se ha de estimar a partir de los datos obtenidos en otras vías del corredor, encuestas de origen y destino, y de casos similares en el ámbito territorial considerado.
- En acondicionamientos y mejoras de carreteras, se han de tener en cuenta los datos recogidos en los informes o mapas de aforos anuales elaborados por las distintas administraciones competentes. Estos datos se pueden complementar con aforos manuales o automáticos. Para determinar la IMD en el año de apertura al tráfico se deben realizar las estimaciones correspondientes a partir del año del aforo.

Coeficiente de ponderación (γ_T)

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

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

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

$$\gamma_T = \gamma_C \cdot \gamma_R \cdot \gamma_L$$

Siendo,

γ_C Coeficiente de asignación del tráfico pesado al carril de proyecto.

γ_R Coeficiente que tiene en cuenta la variabilidad en la estimación del tráfico de proyecto.

γ_L Coeficiente que tiene en cuenta la influencia de la pendiente longitudinal del tramo objeto del proyecto.

El coeficiente γ_C se utiliza para asignar al carril de proyecto un porcentaje estimado del total de vehículos pesados. Salvo que se disponga de datos sobre asignación de tráfico pesado por carriles, el valor del coeficiente se obtendrá de la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Estimación del coeficiente γ_C

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

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

El coeficiente de mayoración γ_R se utiliza para asumir en el dimensionamiento un nivel de riesgo en la estimación del tráfico de proyecto. El nivel de riesgo será función del tipo de red y de la intensidad de tráfico según se indica en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Estimación del coeficiente γ_R

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

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

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

Factor de crecimiento del tráfico (F)

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

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

Siendo,

r Tasa de crecimiento anual del tráfico de vehículos pesados

n Periodo de proyecto

La tasa de crecimiento anual del tráfico de vehículos pesados debe estimarse a partir de un estudio de tráfico específico. No obstante, en ausencia de datos fiables podrá adoptarse una tasa constante del 4% para una IMD de vehículos pesados en el año de puesta en servicio del tramo de 1.600 ó superior, y del 2% en otro caso.

En la tabla 5.4 se dan los factores de crecimiento, F, para tasas de crecimiento anual del tráfico constantes.

Tabla 5.4 Factor de crecimiento del tráfico (periodo de proyecto: 20 años)

r (%)	F
2,0	25
4,0	30

El incremento del tráfico a lo largo del período de proyecto vendrá limitado, en cada caso, por la capacidad de la sección asociada a cada tramo del proyecto. A partir del momento en que la IMD_p alcance el valor máximo correspondiente al tipo de vía y tramo, se supondrá constantemente igual a este valor hasta el final del período de cálculo, siempre que no se prevean actuaciones que puedan incrementar la capacidad de la carretera existente. El valor de esta capacidad, en términos de IMD, se deberá justificar convenientemente en el correspondiente estudio específico, para el que se puede utilizar el *Manual de Capacidad de Carreteras del TRB*¹.

Si no se dispone de un estudio específico, para carreteras de calzada única, dos carriles y doble sentido de circulación, se puede estimar su capacidad siguiendo las directrices que se indican en la tabla 5.5, siempre que las características del tramo se aproximen lo suficiente a las hipótesis consideradas.

Tabla 5.5 Máxima IMD de vehículos pesados en toda la calzada

TIPO DE VÍA	TIPO DE TRAMO		
	LLANO	ONDULADO	MONTAÑOSO
Calzada de 7 m y arcén $\geq 1,5$ m	9.000	4.000	2.000
Calzada de 6 m y arcén $\geq 0,5$ m	7.000	3.000	1.500
Calzada de 5 m y sin arcén	5.000	2.000	1.000

¹ Transportation Research Board (TRB). "Highway Capacity Manual", National Research Council. Washington, D.C. TRB 2010

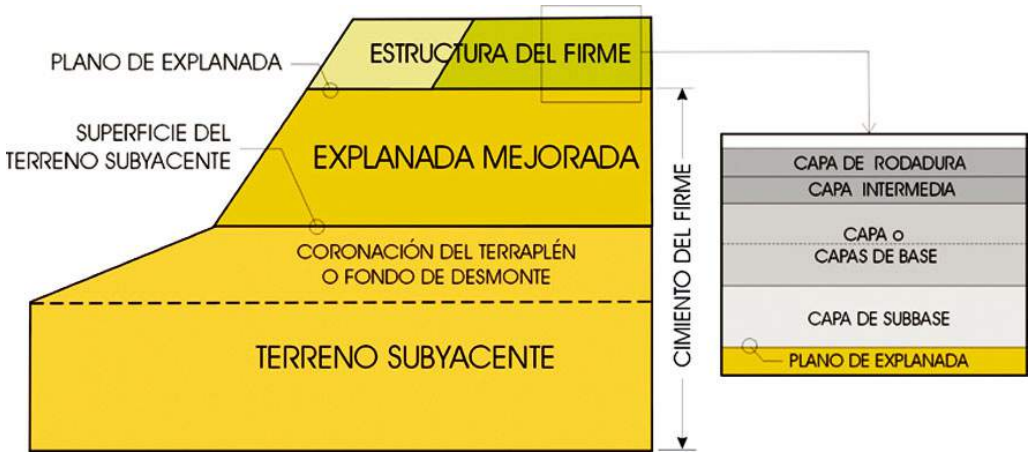
Se han adoptado las siguientes hipótesis:

- 50% camiones
- $FHP = 1$; K (factor de la hora de proyecto) = 0,10
- Reparto por carriles: 60/40

6. EXPLANADA MEJORADA

Se entiende por **Explanada Mejorada** (véase esquema de figura 6.1) el conjunto de capas de suelos o materiales de aportación, o 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. La Explanada Mejorada se apoya a su vez sobre el **Terreno Subyacente**, consistente en el terreno natural en fondos de desmonte, los suelos o materiales de aportación en núcleo de terraplenes o en capa de transición de pedraplenes o rellenos todo-uno, y ambas formaciones en las secciones a media ladera. El **Plano de Explanada** constituye la superficie superior de la Explanada Mejorada, sobre la que se apoya el firme.

Figura 6.1. Esquema de composición de las estructuras de firme y explanada



CATEGORÍA DE EXPLANADA

Se consideran tres categorías de Explanada Mejorada en función de su capacidad de soporte, denominadas EX1, EX2 y EX3 respectivamente. La categoría mínima necesaria será función del Tráfico del Proyecto (véase tabla 6.1).

Tabla 6.1. Categoría necesaria de Explanada Mejorada

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

CATÁLOGO DE SECCIONES

En la figura 6.2 se definen las soluciones posibles de Explanada Mejorada en función de su categoría y del tipo de Terreno Subyacente, sin perjuicio de que, además, se deban

cumplir los valores mínimos exigidos para el módulo de compresibilidad en el ensayo de carga con placa. La elección dependerá en cada caso de los materiales disponibles para su formación, del coste global de la solución y de los condicionantes medioambientales. Todos los análisis y estudios correspondientes deberán figurar en el anejo de firmes del proyecto de construcción.

En cada proyecto, y al menos para cada tramo de 1 km, se definirá una única categoría de explanada, que se podrá obtener a partir de varias secciones diferentes de Explanada Mejorada si el Terreno Subyacente no fuera homogéneo en todo el tramo. Las zonas del Terreno Subyacente consideradas como homogéneas tendrán una longitud mínima de 500 m.

Para la correcta aplicación de la figura 6.2 se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Los espesores que se indican son mínimos en cualquier punto de la sección transversal, y en ningún caso se podrán reducir mediante un eventual empleo de materiales de calidad superior a la especificada en cada una de las secciones.
- El Terreno Subyacente podrá estar constituido por suelos, de acuerdo con el artículo 330 del PG-3¹, o bien por roca (R), según el artículo 320 del PG-3. Se consideran los siguientes tipos de suelos: inadecuados o marginales (IN), tolerables (O), adecuados (1) y seleccionados (2).
- Cuando las características del suelo del Terreno Subyacente no se mantengan en una profundidad mínima de 1 m, se considerará que el suelo del apoyo tiene una clasificación inmediatamente inferior a la obtenida.
- Además de los tipos de Terreno Subyacente indicados en la figura 6.2, podrán existir apoyos en pedraplenes (P), según el artículo 331 del PG-3, y en rellenos todo-uno (TU), según el artículo 333 del PG-3. Estos dos tipos de apoyo se asimilarán a uno de suelo seleccionado tipo 2, salvo que se realicen con suelos marginales, en cuyo caso se habrá de hacer un estudio especial.
- Las características de los materiales utilizables en la Explanada Mejorada cumplirán los criterios indicados en el apartado siguiente *“Características de los materiales”*.
- El espesor total de los materiales incluidos dentro de las secciones de Explanada Mejorada se dividirá en tongadas de espesor comprendido entre 15 y 30 cm

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

En la formación de la Explanada Mejorada se podrán utilizar suelos o estabilizaciones de los mismos con las características que se recogen en la tabla 6.2, y que se deberán reflejar en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto, junto con los símbolos empleados en esta Norma.

¹ “Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)”: Ministerio de Fomento.

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

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

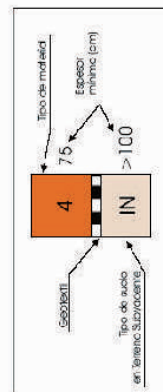


Figura 6.2 Catálogo de Secciones de Explanada Mejorada

Tabla 6.2. Materiales para la Explanada Mejorada

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

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

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

Se podrán utilizar como Suelos Seleccionados los áridos reciclados de RCD (Residuo de Construcción y Demolición) siempre que cumplan las especificaciones que figuran en el Anejo 6 de esta Norma.

Los suelos de la Explanada Mejorada se compactarán en obra con una densidad igual o superior a la utilizada para su caracterización.

En la formación de la Explanada Mejorada se podrán utilizar materiales con tamaños máximos superiores al límite del artículo 330 del PG-3, hasta un tamaño máximo de 120 mm, siempre y cuando se cumplan en el Plano de Explanada las limitaciones de regularidad superficial indicadas en el apartado siguiente.

UNIDAD TERMINADA

Regularidad superficial

La terminación y refino de la Explanada Mejorada cumplirá los requisitos del artículo 340 del PG-3, excepto en lo referente a la tolerancia de la superficie acabada, que no deberá variar en más de los valores señalados en la tabla 6.3 cuando se compruebe con la regla de 3 m estática, según la NLT 334 aplicada tanto paralela como normalmente al eje de la carretera. Tampoco podrá haber zonas capaces de retener agua.

Tabla 6.3. Tolerancia geométrica exigida al Plano de Explanada

IRREGULARIDAD (mm)	
T0 y T00	Otros tráficos
< 15	< 30

Capacidad de soporte

La capacidad de soporte de la explanada vendrá definida por el módulo de compresibilidad², E_{v2} , obtenido en el segundo ciclo del ensayo de carga con placa según la norma NLT-357/98, y la relación, K, entre los módulos de compresibilidad del segundo y primer ciclos de carga. Los valores mínimos de E_{v2} y máximos de K sobre Plano de Explanada serán los indicados en la tabla 6.4. En todo caso, se admitirán valores de k superiores a los máximos señalados si el valor del módulo de compresibilidad del primer ciclo de carga, E_{v1} es al menos el 70% del exigido en el segundo. En las capas de suelo estabilizado no es necesaria la exigencia del módulo de compresibilidad.

Tabla 6.4. Capacidad de soporte mínima del plano de explanada

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

CRITERIOS DE PROYECTO

Drenaje del terreno

El sistema de drenaje se diseñará de forma que se garantice que la superficie del Plano de Explanada queda por encima del nivel de la capa freática. La profundidad mínima del nivel freático respecto al Plano de Explanada será la definida en la tabla 6.5, en función del tipo de suelo del terreno subyacente.

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. Por otro lado, se asegurará la evacuación del agua infiltrada a través del firme de la calzada y arcenes, y de la que provenga de los terrenos próximos.

² 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.

Tabla 6.5. 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

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. En este sentido, 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.

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.

Estabilización de asientos en rellenos

En el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para tráfico T2 ó superiores se exigirá que antes de colocar el firme definitivo se estabilicen los asientos diferenciales posteriores a la construcción de rellenos. Se considerará que dichos asientos diferenciales se han estabilizado cuando la diferencia entre los asientos absolutos de dos puntos del Plano de Explanada que disten 20 m, medidos en un intervalo de 3 meses, sea inferior a los límites indicados en la tabla 6.6. Como mínimo se deberá comprobar que se cumplen estos criterios en los siguientes casos:

- Rellenos de más de 15 m de altura.
- Transición de obras de fábrica a relleno de más de 5 m de altura.
- Transición de desmonte a relleno de más de 10 m de altura, siempre que esa altura se alcance en menos de 50 m de terraplén.
- Relleno sobre suelos con CBR inferior o igual a 3.

Tabla 6.6. Asientos diferenciales máximos postconstructivos en coronación de terraplenes

VELOCIDAD DE PROYECTO (Km/h)	MÁXIMA DIFERENCIA ENTRE ASIENTOS (cm)
120	1,5
100	2,0
80 – 60	3,5

En las transiciones de obra de fábrica a relleno se deberá considerar la necesidad de disponer losas de transición y de ejecutar cuñas de transición con material de menor deformabilidad, en ambos casos debidamente dimensionadas. Siempre que la posición de la losa lo permita se mantendrá el espesor del firme hasta el contacto con el estribo. Si esto no fuera posible, en general se prolongarán todas las capas hasta su contacto con la losa de transición salvo en las bases tratadas con conglomerantes hidráulicos que se cortarán verticalmente al alcanzar su cara inferior la losa de transición. Las cuñas resultantes se rellenarán con mezcla bituminosa.

En las transiciones de desmonte a relleno se analizará también la conveniencia de escalonar el cimientto del relleno y de ejecutar cuñas de transición.

7. MATERIALES PARA EL FIRME

Los materiales que se contemplan en las secciones de firme que se definen en esta Norma son los que figuran a continuación:

- Mezclas bituminosas en caliente
- Mezclas bituminosas en frío
- Microaglomerados en frío
- Tratamientos superficiales con gravilla
- Gravacemento
- Suelocemento
- Zahorras
- Riegos de adherencia, imprimación y curado.

Las especificaciones de cada uno de ellos (con la excepción de las mezclas en frío tipo abierto y gravaemulsión) están definidas en los artículos correspondientes del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) del Ministerio de Fomento. Además, el proyecto de cada obra deberá tener en cuenta las prescripciones que se incluyen en los siguientes epígrafes, que prevalecerán sobre las del PG-3 en caso de discrepancia.

MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

En general, la mezcla bituminosa se repartirá, de arriba a abajo, en una capa de rodadura, una capa intermedia, y una o más capas de base. El espesor de cada capa será siempre mayor o igual al de la capa inmediata superior, y en general se tenderá a proyectar el menor número posible de capas o tongadas. La combinación de mezclas bituminosas elegida para formar el espesor total definido en los catálogos respetará en todo caso los criterios sobre espesores mínimos y tipos de mezcla definidos en este capítulo.

Los áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico se podrán utilizar, para todas las categorías de tráfico pesado, tanto en la calzada como en los arcenes siempre que cumplan las prescripciones técnicas exigidas en el Anejo 3 y se declare el origen de los materiales, tal como se establece en la legislación comunitaria sobre estas materias.

Capas de rodadura

Se podrán utilizar hormigones bituminosos en caliente de los tipos AC surf denso (D) y semidenso (S), definidos en el art. 542 del PG-3, y mezclas bituminosas drenantes PA y discontinuas en caliente BBTM A y B definidas en el art. 543 del PG-3. Las condiciones de aplicación de cada una de ellas se dan en la tabla 7.1 *“Utilización de mezclas bituminosas en la capa de rodadura”*.

No se admite, en ninguna proporción, el empleo de material reciclado de antiguas mezclas bituminosas.

Salvo justificación en contrario, se mantendrán en los arcenes el tipo y el espesor de la capa de rodadura.

Se dará preferencia a la utilización de mezclas drenantes en tramos rectos con elevadas intensidades de tráfico y pendientes reducidas, siempre que se den las circunstancias señaladas en la tabla 7.1.

Capas intermedias

Se podrán utilizar hormigones bituminosos AC bin de los tipos denso (D), semidenso (S) y de alto módulo (MAM), definidos en el art. 542 del PG-3. Las condiciones de aplicación de cada uno de ellos se indican en la tabla 7.2 *“Utilización de mezclas bituminosas en las capas inferiores”*.

Con tráficos T1 ó inferiores se podrá utilizar en calzada hasta un 10% de material reciclado de antiguas mezclas bituminosas y hasta un 30% en arcenes.

Las mezclas de alto módulo (MAM) no podrán contener material reciclado de antiguas mezclas bituminosas.

Capas de base

Se podrán utilizar hormigones bituminosos AC base tipo semidenso (S), grueso (G) y de alto módulo (MAM), definidos en el art. 542 del PG-3. Las condiciones de aplicación de cada uno de ellos se indican en la tabla 7.2.

Con tráficos T1 ó inferiores se admitirá que la mezcla de tipo semidenso (S) o grueso (G) contenga hasta un 25% de material reciclado en calzada y hasta un 30% en arcenes.

Las mezclas de alto módulo (MAM) no podrán contener material reciclado de antiguas mezclas bituminosas.

MEZCLAS BITUMINOSAS EN FRÍO

En general, la mezcla bituminosa se repartirá, de arriba a abajo, en una capa de rodadura, una capa intermedia, y una o más capas de base. El espesor de la capa inferior será siempre mayor o igual al de la capa inmediata superior, y en general se tenderá a proyectar el menor número posible de capas o tongadas. La combinación de mezclas bituminosas elegida para formar el espesor total definido en los catálogos respetará en todo caso los criterios sobre espesores mínimos y tipos de mezclas definidos en este capítulo.

Los áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico podrán utilizarse para todas las categorías de tráfico de proyecto, tanto en la calzada como en los arcenes, siempre que cumplan las prescripciones técnicas exigidas en el artículo que se incluye en el Anejo 3 *“Áridos siderúrgicos de horno eléctrico para mezclas bituminosas”* y se declare el origen de los materiales, tal como se establece en la legislación comunitaria sobre estas materias.

Capas de rodadura

Se podrán utilizar mezclas bituminosas abiertas en frío (AF) definidas en el Pliego de Mezclas Bituminosas Abiertas en Frío, elaborado por la Asociación Técnica de Emulsiones

Bituminosas (ATEB), y microaglomerados en frío, definidos en el art. 540 del PG-3. Las condiciones de aplicación de cada una de estas unidades de obra se dan en la tabla 7.1 *“Utilización de mezclas bituminosas en la capa de rodadura”*.

Las mezclas abiertas en frío (AF) sólo se podrán utilizar como capa de rodadura con tráficos T3B ó T4. Se dispondrán en espesores de 4 a 6 cm. También se podrán utilizar como firmes provisionales para cualquier tipo de tráfico. En cualquier caso, se deberán sellar tras el correspondiente período de curado mediante la aplicación de una o dos capas de microaglomerado en frío, utilizando MICROF 8 si es una capa o MICROF 5 y MICROF 8 en el caso de dos capas.

Los microaglomerados en frío se podrán utilizar como capa de rodadura sobre gravaemulsión. Para tráficos T4, se utilizará el tipo MICROF 8.

Capas intermedias o de base

Se podrá utilizar gravaemulsión (GEA-1), según el Pliego de Grava-Emulsión, elaborado por la Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB), con tráficos T3B y T4. Las condiciones de aplicación se indican en la tabla 7.2 *“Utilización de mezclas bituminosas en las capas inferiores”*.

No se ejecutará sobre la gravaemulsión ninguna capa hasta que haya transcurrido un período de maduración tal que permita un contenido residual de agua no superior al 1%.

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES CON GRAVILLA

Los tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla tienen por objeto proporcionar una textura adecuada para la circulación de los vehículos e impermeabilizar el firme, sin que aporten directamente un incremento en la capacidad estructural.

Se podrán utilizar en calzada y arcenes para tráficos T4. Sobre zahorras artificiales se emplearán riegos tricapa, sobre gravaemulsión o materiales tratados con cemento, riegos bicapa, y en sellados provisionales, riegos monocapa, monocapa preengravillado o monocapa doble engravillado.

Los diferentes tratamientos superficiales se constituyen tal como se indica a continuación:

- Riego Monocapa, formado por aplicación de ligante y una extensión de árido.
- Riego Monocapa Doble Engravillado, formado por una aplicación de ligante y dos extensiones de árido.
- Riego Bicapa, formado por dos aplicaciones sucesivas de ligante y árido.
- Riego Monocapa preengravillado, formado por dos extensiones de árido entre las que se intercala una aplicación de ligante.
- Riego Doble Sándwich, formado por tres extensiones de árido entre las que se intercalan dos aplicaciones de ligante.
- Riego Tricapa, formado por tres aplicaciones sucesivas de ligante y árido.
- Riego de Protección o riego en negro, consistente en un riego ligero de ligante sobre cualquiera de los riegos anteriores, para protegerlos y evitar pérdidas de gravilla.

Los áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico podrán utilizarse en tratamientos superficiales para todas las categorías de tráfico pesado, tanto en la calzada como en los arcenes, siempre que cumplan las prescripciones técnicas exigidas en el artículo que se incluye en el Anejo 3 y se declare el origen de los materiales, tal como se establece en la legislación comunitaria sobre estas materias.

Tabla 7.1. Utilización de mezclas bituminosas en la capa rodadura

Velocidad específica del tramo(km/h)	Inclinación (%)	Categoría de tráfico pesado	Espesor (cm) y tipo de mezcla bituminosa en capa de rodadura						MAF	TS	MICROF
			AC D	AC S	PA ⁽¹⁾	BBTM A	BBTM B				
> 90	< 5	T00 - T2A		6 (AC22 surf S)	4 (PA 11)	3 (BBTM 11/8 A)	3 (BBTM 11/8 B)				
		T28 - T3A		5 (AC16 surf S)							
		T3B									
		T4									
	≥ 5	T00 - T2A		6 (AC22 surf S)	4 (PA 11)	3 (BBTM 11/8 A)	3 (BBTM 11/8 B)		6 (AF20)		(MICROF 8) ⁽²⁾
		T28 - T3A		5 (AC16 surf S)					4-5 (AF12)		
		T3B									
		T4		4 - 5 (AC16 surf S)		3 (BBTM 11/8 A)			6 ⁽¹⁾ (AF20)		(MICROF 8) ⁽²⁾
≤ 90	< 5	T00 - T2A		6 (AC22 surf S)	4 (PA 11)	3 (BBTM 11/8 A)	3 (BBTM 11/8 B)				
		T28 - T3A		5 (AC16 surf S)							
		T3B									
		T4A		4 - 5 (AC16 surf S)	4 (PA 11)	3 (BBTM 11/8 A)	3 (BBTM 11/8 B)		6 (AF20)		(MICROF 8) ⁽²⁾
	≥ 5	T4B	4 - 5 (AC16 surf D)	4 - 5 (AC16 surf S)					4-5 (AF12)	{DTS o TTS} ⁽³⁾	
		T00 - T2A		6 (AC22 surf S)	4 (PA 11)	3 (BBTM 11/8 A)	3 (BBTM 11/8 B)				
		T28 - T3A		5 (AC16 surf S)							
		T3B		4 - 5 (AC16 surf S)					6 ⁽¹⁾ (AF20)		(MICROF 8) ⁽²⁾
	≥ 5	T4A		4 - 5 (AC16 surf S)		3 (BBTM 11/8 A)			4-5 ⁽¹⁾ (AF12)	{DTS o TTS} ⁽³⁾	
		T4B	4 - 5 (AC16 surf D)	4 - 5 (AC16 surf S)							

ESPECIALMENTE RECOMENDABLE.

UTILIZABLE

NOTAS:

- (1) Sellada con microaglomerado en frío.
 (2) Sólo sobre gravaemulsión o como sellado de mezclas abiertas en frío.
 (3) Riego bicapa sobre gravaemulsión o material tratado con cemento, y tricapa sobre zahorra artificial.

(*) NOTA ESPECIAL SOBRE CAPAS DRENANTES:

- Se podrán emplear únicamente si la IMD de la vía es superior a 2000 vehículos y, salvo justificación en contrario mediante estudio especial, si la categoría de tráfico pesado es inferior a T00. En cualquier caso, no se emplearán si concurre cualquiera de las siguientes circunstancias:
- Zonas con heladas o nevadas frecuentes.
 - Zonas con curvas cerradas (R < 200 m) y categoría de tráfico pesado T2 ó superior.
 - Zonas con frecuentes accesos en tierra (más de 1 acceso no pavimentado por km), a menos que se pavimenten los 100 m anteriores al acceso.
 - Zonas que vayan a estar afectadas por obras colindantes en los primeros años de servicio del tramo.
 - En tableros de viaductos que puedan tener problemas de heladas, en calles urbanas, o en túneles.
 - Tramos de longitud inferior a 1 km, a menos que sean continuación de otros tramos con mezclas drenantes o que sean puntos específicos en los que haya que facilitar el drenaje.

Tabla 7.2. Utilización de mezclas bituminosas en las capas inferiores

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

ESPECIALMENTE RECOMENDABLE.

UTILIZABLE

NOTAS:

- (1) Esta capa puede no existir. En cualquier caso, su espesor será al menos igual al de la capa de rodadura.
- (2) Puede haber una o más capas de base, en función del espesor total del paquete bituminoso. En cualquier caso, el espesor de cada capa será al menos igual al de la capa inmediatamente superior.

GRAVACEMENTO

De las definidas en el art. 513 del PG-3, se utilizará el tipo GC20 para todo tipo de tráfico. Los espesores de tongada compactada para el material gravacemento estarán comprendidos entre 20 y 30 cm.

La gravacemento se prefisurará en fresco a una distancia comprendida entre 2 y 3 m. No se exigirá el cumplimiento del límite superior de resistencias señalado en el artículo 513 del PG-3 cuando se haya prefisurado el material. La utilización de gravacemento con resistencias superiores a las especificadas no implicará en ningún caso la reducción del espesor de las capas que figuran en el catálogo de secciones.

SUELOCEMENTO

Se podrá utilizar suelocemento de los tipos SC40 y SC20 definidos en el art. 513 del PG-3 para todo tipo de tráfico. Con tráficos T1 ó superiores, el suelocemento se fabricará en central. Con tráficos inferiores, se admitirá también la fabricación in situ si se utilizan equipos que garanticen la calidad de la unidad de obra, lo que se deberá demostrar en tramo de prueba. Además, si el suelocemento se fabrica in situ, los espesores mínimos indicados en las secciones definidas en el Capítulo 9 “Secciones de firme en calzada” para esta unidad de obra se incrementarán en 3 cm.

Los espesores de la tongada compactada para el material suelocemento estarán comprendidos entre 20 y 30 cm.

El suelocemento se prefisurará en fresco en aquellas situaciones que se indican en la tabla 7.3 a una distancia de 3 m. En estas situaciones no se exigirá el cumplimiento del límite superior de resistencias señalado en el art. 513 del PG-3.

En aquellas situaciones en que el suelocemento sea sustituido por una gravacemento se utilizará el huso GC25 en calzada y no serán exigibles las prescripciones relativas al porcentaje de caras de fractura.

Tabla 7.3 Condiciones para la prefisuración de capas de suelocemento colocadas directamente bajo mezcla bituminosa

TRÁFICO	ZONA CLIMÁTICA	RCS7 < 4,5 Mpa	RCS7 ≥ 4,5 MPa
ALTO (< T3)	CONTINENTAL	Obligatorio ^(*)	Obligatorio
	LITORAL	Recomendable ^(*)	
BAJO (≤ T3)	CONTINENTAL	Recomendable	Recomendable ^(**)
	LITORAL	No necesario	

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

^(*) No necesario cuando el espesor de MB ≥ 20 cm.

^(**) No necesario para Tráfico de Proyecto T4B.

ZAHORRA ARTIFICIAL

De acuerdo con el art. 510 del PG-3, se utilizarán zahorras de los tipos ZA25 ó ZA20.

En los casos en que la zahorra artificial deba cumplir además una función drenante o anticapilar, se constituirá con una granulometría por debajo del centro del huso especificado para cada tipo.

Si la capa de zahorra se coloca en dos tongadas, en la inferior se pueden utilizar también zahorras naturales de los tipos ZN40 ó ZN25 (art. 510 del PG-3), aumentando entonces el espesor de la capa superior de zahorra artificial en 10 cm.

Los espesores totales del conjunto de capas granulares estarán comprendidos entre 20 y 40 cm. Los espesores iguales o inferiores a 30 cm se ejecutarán en una única tongada, y los superiores en dos.

Manteniendo los mismos espesores, y siempre que la disponibilidad del material así lo justificara, la zahorra artificial podrá ser sustituida por escoria de acería de horno eléctrico, árido reciclado de construcción y demolición (RCD) o combinaciones de éstos con áridos naturales o artificiales, siempre que la escoria o el material combinado cumplan las especificaciones del Anejo 4 (escorias de acería) o del Anejo 5 (árido reciclado de construcción y demolición (RCD)) y las del correspondiente artículo 510 del PG-3 en las que no sean modificadas por éste.

Para la escoria de acería de horno eléctrico se tendrán también en cuenta las siguientes limitaciones:

- El espesor del conjunto de capas granulares y explanada mejorada realizadas con áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico no debe ser superior a 70 cm. Cuando la capa esté formada por una combinación de áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico y otros áridos este espesor se podrá corregir al alza en función del porcentaje de áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico.
- No se emplearán en zonas confinadas, como bases o subbases limitadas por bordillos. En trasdoses de puentes no se emplearán en los 50 m próximos a la estructura.
- No se podrán utilizar en carreteras inundables con un período de retorno de 100 años y que se especifican en el Plan Integral de Prevención de Inundaciones de la Comunidad Autónoma del País Vasco.
- Las capas en las que se utilicen se deben drenar adecuadamente, evitando especialmente el estancamiento de agua en las mismas.
- Se debe estudiar la posible corrosión de elementos galvanizados o tuberías de aluminio localizados en las proximidades.

El árido reciclado de construcción y demolición (RCD) no se podrá utilizar con categorías de tráfico pesado T00 a T1.

RIEGOS

Se deberá cuidar especialmente la correcta ejecución y el empleo de las dotaciones adecuadas, ya que los riegos juegan un papel decisivo en el comportamiento del firme.

Riegos de adherencia

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

Riegos de imprimación

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

Riegos de curado

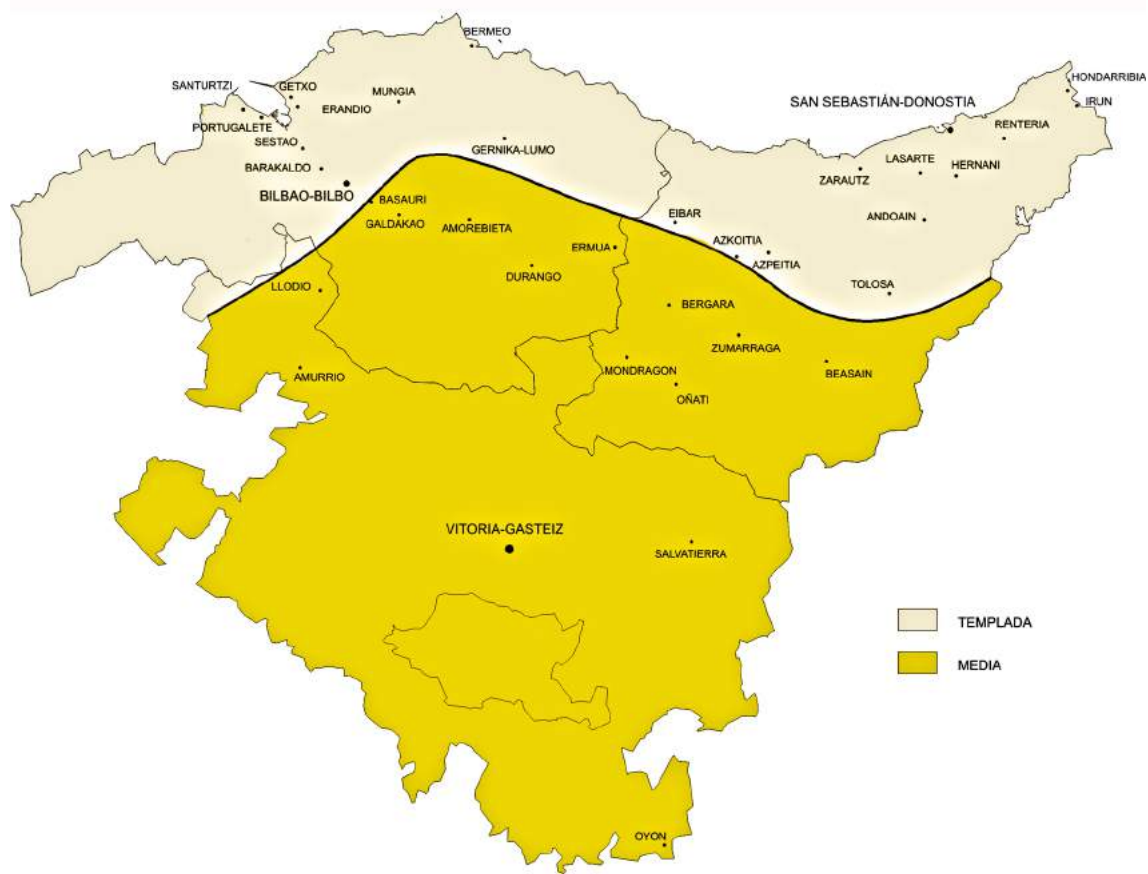
Se efectuará un riego de curado, según lo indicado en el art. 532 del PG-3, sobre todos los materiales tratados con conglomerantes hidráulicos. El riego de curado se deberá barrer de forma enérgica previamente a la colocación de una capa superior o la extensión de un riego de adherencia.

8. CLIMA¹

ZONA TÉRMICA ESTIVAL

A efectos de aplicación de los artículos del PG-3 relativos a los materiales bituminosos incluidos en esta Norma se considerarán las Zonas Térmicas Estivales definidas en la figura 8.1.

Figura 8.1. 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.

¹Los datos para la elaboración de los mapas de este capítulo (Zonas Térmicas Estivales y Zonas Climáticas), correspondientes a un período de 30 años, han sido proporcionados por la Dirección de Meteorología y Climatología del Departamento de Transportes y Obras Públicas del Gobierno Vasco.

A efectos de la prefisuración de las capas tratadas con cemento, en la presente Norma se considerarán las Zonas Climáticas definidas en la figura 8.2.

The map illustrates the Basque Country, divided into two main regions: Litoral (light blue) and Continental (dark blue). The Litoral region is located along the coast, while the Continental region covers the inland areas. Major cities and towns are marked with dots and labeled. The map also shows the border with France to the north and the Bay of Biscay to the west.

Legend:

- LITORAL (light blue)
- CONTINENTAL (dark blue)

Major Cities and Towns:

- BILBAO-BILBO
- VITORIA-GASTEIZ
- SAN SEBASTIÁN-DONOSTIA
- IRUN
- BERMEO
- SANTURTZI
- GETXO
- ERANDIO
- MUNGIA
- PORTUGALETE
- SESTAO
- BARAKALDO
- BASALURI
- GALDAKAO
- AMOREBIETA
- GERNIKA-LUMO
- ERMUA
- DURANGO
- EIBAR
- BERGARA
- ZUMARRAGA
- MONDRAGON
- OIATI
- SAVATIERRA
- OYON
- LLODIO
- AMURRIO
- LAZARTE
- HERNANI
- RENTERIA
- ANDOAIN
- TOLOSA
- BEASAIN

Clima

9. SECCIONES DE FIRME EN CALZADA

En este capítulo se presenta un catálogo de secciones de firme dimensionadas para las categorías de Tráfico de Proyecto y Explanada Mejorada definidas en los capítulos 5 y 6 respectivamente. El dimensionamiento de las secciones se ha llevado a cabo mediante métodos de cálculo analítico a los que se han aplicado modelos de comportamiento calibrados para las condiciones específicas de la red de carreteras del País Vasco. Las soluciones se han definido para los extremos superiores de los intervalos de cada categoría, de manera que el nivel de confianza del cálculo dependerá de la posición relativa de los parámetros de entrada respecto a los extremos superiores de las diferentes categorías.

En los proyectos de firmes de carreteras, tanto de nueva construcción como de acondicionamiento y mejora, se adoptarán las secciones de firme en calzada de los catálogos de soluciones presentadas en este capítulo, excepto en el caso de la construcción de tramos experimentales. En los proyectos de ensanches, la solución elegida se aproximará en lo posible a alguna de las secciones de firme de nueva construcción que figuran en el catálogo y se tendrán en cuenta las directrices expuestas en el capítulo 11 “*Secciones de firmes especiales*”.

Resulta conveniente que, si no se producen cambios sustanciales en la categoría de tráfico, el tramo objeto del proyecto tenga una misma sección de firme en todo su trazado. Si hubiese razones que motivaran un cambio de sección de firme, el tramo objeto del proyecto se dividirá en subtramos de no menos de 1 km medido sobre el eje de la vía, excepto cuando la longitud correspondiente al proyecto de construcción fuera menor, en ensanches o en otros casos específicos debidamente justificados.

CATÁLOGO DE SECCIONES

En las figuras siguientes se presentan los catálogos de soluciones para firmes flexibles, semiflexibles y semirrígidos. Si se hubieran de proyectar firmes rígidos, se hará de acuerdo con la Norma 6.1-IC “Secciones de firme” del Ministerio de Fomento. La definición de los tipos de firme incluidos en esta norma se recoge en la tabla 9.1. Se seleccionará en cada caso la solución más apropiada de entre las posibles, basándose en criterios técnicos, económicos y ambientales, y los estudios y análisis correspondientes figurarán en el correspondiente anejo de firmes del proyecto de construcción.

Tabla 9.1 Definición de secciones tipo

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

Con respecto a las secciones de firme de los catálogos, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las secciones se definen en función de la categoría de Tráfico de Proyecto y de la categoría de Explanada Mejorada.
- Las secciones definidas están referidas al carril de proyecto, pudiéndose utilizar soluciones diferentes en otros carriles cumpliendo con lo indicado en el capítulo 12 “Aspectos constructivos”.
- Los espesores que se señalan en los catálogos son mínimos en cualquier punto de la sección transversal y están definidos en centímetros.
- Las características de los diferentes materiales que integran las secciones de los firmes se definen en el capítulo 7 “Materiales para el firme”.

Secciones tipo 1

Se trata de firmes flexibles o semiflexibles constituidos por mezclas bituminosas sobre materiales granulares. Se podrá optar por las secciones tipo 1.1, donde las mezclas bituminosas se apoyan sobre capas granulares de zahorra artificial, o bien por las secciones tipo 1.2, donde las mezclas bituminosas se apoyan directamente sobre la explanada. Las secciones tipo 1.2 se proyectarán únicamente sobre explanadas de la categoría EX3 cuya coronación esté formada por suelos estabilizados con cemento tipo S-EST3.

En la definición de los catálogos se ha considerado que las mezclas bituminosas en caliente de las capas de base son preferentemente de tipo semidenso (S) frente a las de tipo grueso (G). Por consiguiente, si estas capas se sustituyen por mezclas bituminosas de tipo grueso (G) se debe aumentar su espesor en al menos 3 cm con respecto al definido en el catálogo.

Además de las mezclas bituminosas anteriores, también se podrán disponer mezclas bituminosas de alto módulo en las capas intermedia y de base, en cuyo caso se podrá disminuir el espesor conjunto de ambas hasta en un 20% con respecto al definido en el catálogo.

En las categorías de tráfico T3B y T4 es conveniente que las mezclas bituminosas sean suficientemente flexibles, para lo cual se pueden utilizar mezclas en frío o bien mezclas en caliente con un contenido de betún no inferior al 4,75% sobre el peso de la mezcla. Si se utilizan mezclas en frío, se proyectarán con los mismos espesores señalados en el catálogo de secciones tipo. En la categoría T4B se admite la sustitución de la rodadura bituminosa por un tratamiento superficial.

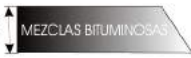
Secciones tipo 1.1

		EX1	EX2	EX3 (*)
T00		--		
T0		--		
T1	T1A	--		
	T1B	--		
T2	T2A	--		
	T2B			
T3	T3A			--
	T3B			--
T4	T4A			--
	T4B			--

(*) Sólo secciones de Explanada Mejorada con coronación de suelo seleccionado tipo 4.

Nota: Espesores en cm

Secciones tipo 1. 2

		EX1	EX2	EX3 (*)
T00		--	--	36 
T0		--	--	32 
T1	T1A	--	--	28 
	T1B	--	--	25 
T2		--	--	--
T3		--	--	--
T4		--	--	--

(*) Sólo secciones de Explanada Mejorada con coronación de suelo estabilizado in situ tipo S-EST3

Nota: Espesores en cm

Secciones tipo 2

Se trata de firmes constituidos por mezclas bituminosas apoyadas sobre capas de materiales tratados con cemento. Se podrá optar por las secciones tipo 2.1, en las que las mezclas bituminosas se apoyan sobre una base de suelocemento, por las secciones tipo 2.2, en las que las mezclas bituminosas se apoyan sobre una base de gravacemento y una subbase de suelocemento, o bien por las secciones 2.3, en las que las mezclas bituminosas se apoyan sobre una base de gravacemento que descansa directamente sobre la explanada. Las secciones tipo 2.3 se proyectarán únicamente sobre explanadas de la categoría EX3 cuya parte superior esté formada por suelos estabilizados con cemento tipo S-EST3.

El suelocemento podrá ser sustituido por gravacemento manteniendo los espesores indicados en el catálogo y siempre que las disponibilidades de material así lo justifiquen y se sigan las directrices indicadas en el capítulo 7 *“Materiales para el firme”*.

En general, en las capas bituminosas situadas entre el material tratado con cemento y la capa de rodadura, se utilizarán mezclas de tipo semidenso (S). Se podrán emplear también mezclas bituminosas de tipo grueso (G) siempre que se dosifiquen con más del 4,5% de ligante sobre el peso de los áridos.

En las secciones de firme tipo 2.1 con categoría de tráfico T2B ó superior se permitirá el empleo de mezclas bituminosas de alto módulo (MAM) sobre la base de suelocemento reduciendo en 2 cm el espesor total de mezclas bituminosas indicado en el catálogo.

Secciones tipo 2.1

		EX1	EX2	EX3
T00		--		
T0		--		
T1	T1A	--		
	T1B	--		
T2	T2A	--		
	T2B			
T3	T3A			--
	T3B			--
T4	T4A			--
	T4B			--

Nota: Espesores en cm

Secciones tipo 2.2

	EX1	EX2	EX3
T00	--		--
T0	--		--
T1	--		--
T2	--		--
T3	--	--	--
T4	--	--	--

Nota: Espesores en cm

Secciones tipo 2.3

	EX1	EX2	EX3 (*)
T00	--	--	
T0	--	--	
T1	--	--	
T2	--	--	
T3	--	--	--
T4	--	--	--

(*) Sólo secciones de Explanada Mejorada con coronación de suelo estabilizado in situ tipo S-EST3
 Nota: Espesores en cm

COMPARACIÓN DE SECCIONES

En cada proyecto se comparará, al menos, el coste de construcción de dos secciones de distinto tipo que sean técnicamente adecuadas para las condiciones de la obra. Si la diferencia entre estos costes es inferior al 15%, se realizará una comparación de costes a largo plazo para elegir la sección más económica. La comparación de costes a largo plazo debe incluir los costes de construcción, mantenimiento y refuerzo. Para considerar los principales costes asociados a una sección de firme se considerará un período de al menos 30 años, actualizando los costes al año de origen.

Los costes de construcción se obtendrán como suma de los de las unidades de obra que componen la sección, incluyendo los arceles y drenes de firme en el caso de que difieran entre secciones. Se tomarán los precios tipo considerados en cada Diputación Foral.

Los costes de conservación considerarán las operaciones ordinarias de conservación de firmes y las rehabilitaciones correspondientes. Para la definición de costes se pueden tomar los modelos incluidos en el Anejo 2 “*Escenarios de conservación*” o bien realizar un estudio particular según el tipo de sección y la experiencia propia en cada Diputación Foral.

SECCIONES ALTERNATIVAS

En el caso de que se analice alguna sección de firme alternativa a las presentadas en el catálogo de secciones dimensionadas (ver el Capítulo 4 de Consideraciones Generales) debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Los diseños alternativos necesariamente deben ser aprobados por la Oficina o Servicio encargado de la Supervisión de Proyectos de la Diputación Foral correspondiente.
- No se admitirán “optimizaciones” de las secciones contempladas en el catálogo, entendidas como una disminución de espesores en los firmes cuando se utilizan los materiales y disposiciones de capa que se consideran en esta Norma.
- La vida de servicio calculada para el firme alternativo debe ser igual o superior a la del firme original.
- Los diseños alternativos deben justificar las siguientes condiciones de los firmes proyectados:
 - o Durabilidad de la estructura del firme, teniendo en cuenta los efectos mecánicos y climáticos. El firme debe tener la vida de servicio exigida cuando se reduzca en 2 cm el espesor de la capa de mayor módulo, para tener en cuenta las posibles tolerancias y desviaciones constructivas.
 - o Costes de conservación durante la vida de servicio.

Esquema del metodo

Para realizar el diseño del firme se seguirá el siguiente esquema:

- Definición de las variables de entrada: cargas del tráfico, características de la explanada, condiciones climáticas, materiales disponibles.

- Selección de los parámetros críticos de cálculo, generalmente deformaciones verticales en la explanada y deformaciones horizontales en el fondo de las capas bituminosas o de tensiones horizontales en el fondo de las capas tratadas con cemento.
- Cálculo de la respuesta del firme ante una carga tipo mediante un modelo multicapa.
- Aplicación de los modelos de comportamiento para tener en cuenta el fenómeno de fatiga por repetición de cargas.
- Aplicación de la ley de Miner en caso de consideración de varios tipos de cargas o de varias épocas climáticas
- Determinación de las aplicaciones de carga admisibles por la estructura estudiada.
- Repetición del cálculo aplicando tolerancias de espesores en la capa de mayor módulo.
- Comparación de las aplicaciones admisibles con las cargas estimadas a lo largo del período de proyecto.
- Reajuste del cálculo si es necesario.

Definición de materiales

Para la realización del cálculo se deben conocer las siguientes propiedades de los materiales utilizados:

- Módulo de Young y coeficiente de Poisson del material.
- Resistencia a fatiga

Se utilizarán los valores de módulo de la tabla 9.2 y las leyes de fatiga de la tabla 9.3.

Tabla 9.2 Módulos de los materiales

MATERIAL		E (MPa)	ν
Mezclas bituminosas	Densas y Semidensas, AC D y S	6.000	0,33
	Gruesas, AC G	5.000	0,33
	De alto módulo, AC MAM	11.000	0,30
	Drenantes y discontinuas, PA y BBTM A y B	4.000	0,35
Materiales tratados con cemento	Suelocemento con suelos granulares	8.000	0,25
	Suelocemento con zahorras	12.000	0,25
	Gravacemento convencional	22.000	0,25
Explanada	EX1	75	0,35
	EX2	125	0,35
	EX3	250	0,35

Tabla 9.3 Leyes de fatiga

MATERIAL		Ley de fatiga
Mezclas bituminosas	Semidensas AC S	$N = 1,3 \cdot 9,0745 \cdot 10^{-9} \cdot \epsilon_H^{-3,6707}$
	Gruesas AC G	$N = 9,0745 \cdot 10^{-9} \cdot \epsilon_H^{-3,6707}$
	De alto módulo AC MAM	$N = 1,1 \cdot 9,0745 \cdot 10^{-9} \cdot \epsilon_H^{-3,6707}$
	Drenantes PA, y discontinuas en capa fina BBTM A y B	—
Materiales tratados con cemento	Suelo S-EST3	$\sigma = 0,5 \cdot (1/1,20) \cdot (1-0,065 \log N)$
	Suelocemento	Minorada: $\sigma = 0,8 \cdot (1/1,20) \cdot (1-0,065 \log N)$
	Gravacemento	$\sigma = 1,6 \cdot (1/1,20) \cdot (1-0,065 \log N)$
Explanada	EX1, 2 ó 3	$\epsilon_v = 1,575 \cdot 10^{-2} \cdot N^{-0,25}$

10. SECCIONES DE FIRME EN ARCENES

El firme de los arcenes de anchura no superior a 1,25 m será prolongación del firme de la calzada adyacente. Su ejecución será simultánea, sin junta longitudinal entre calzada y arcén.

En aquellos arcenes de anchura superior a 1,25 m se prolongará el firme de la calzada adyacente al menos 20 cm, medidos sobre la capa superior y con los derrames necesarios, y se elegirá la sección del arcén en función de la categoría de Tráfico de Proyecto del tramo, evitándose en lo posible la aparición de nuevas unidades de obra.

Salvo justificación en contrario, se adoptará alguna de las soluciones definidas en la tabla 10.1, previstas para unas solicitaciones del tráfico pesado acordes con la función asignada a los arcenes. En el caso de que se previera la utilización esporádica de los arcenes como carriles adicionales (por ejemplo, en vías y autovías urbanas o periurbanas) u otras situaciones que dieran lugar a solicitaciones anormalmente intensas, se podrán justificar secciones de mayor capacidad estructural previa autorización de la administración competente. En este caso, siempre será posible la prolongación del firme de la calzada adyacente aprovechando las ventajas constructivas.

Tabla 10.1. Secciones estructurales de firme en arcenes

CATEGORÍA DE TRÁFICO	TIPO DE FIRME	SECCIÓN EN ARCÉN		
		PAVIMENTO	BASE	SUBBASE ⁽¹⁾
T00	1 ó 2	Espesor total ≥ 15 cm Prolongación de las capas de rodadura e intermedia de la calzada	ZA	ZA
T0	1 ó 2	Espesor total ≥ 12 cm Prolongación de las capas de rodadura e intermedia de la calzada	ZA	ZA
T1	1 ó 2	Espesor total ≥ 10 cm Prolongación de las capas de rodadura e intermedia de la calzada	ZA	ZA
T2 - T3A	1 ó 2	Prolongación de la capa de rodadura de la calzada ⁽³⁾	ZA	ZA ó SS ⁽²⁾
T3B - T4B	1 ó 2	Riego con gravilla o bien sin pavimentar ⁽⁴⁾	ZA	ZA ó SS

⁽¹⁾ Hasta alcanzar la explanada.

⁽²⁾ SS: suelo seleccionado tipo 4.

⁽³⁾ 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.

⁽⁴⁾ Si no se pavimenta el arcén, la zahorra debe presentar, en los 15 cm superiores, un índice de plasticidad comprendido entre 6 y 10.

Para fijar los espesores de construcción de las capas o tongadas del firme del arcén se tendrá en cuenta la distribución de capas del firme de la calzada, a fin de coordinar su construcción, procurando en lo posible enrasar las capas de arcén y calzada. Si fuera previsible un ensanche de la calzada a costa del arcén, se procurará asimismo adoptar una solución compatible.

El espesor de construcción de las capas de base y subbase granulares del arcén estará comprendido entre 15 y 30 cm. Los espesores de las capas de mezcla bituminosa cumplirán los mismos requisitos que en la calzada.

11. SECCIONES DE FIRMES ESPECIALES

TRAVESÍAS

Se pueden proyectar las mismas secciones de firme indicadas en el capítulo 9 “*Secciones de firme en calzada*” o bien optar por las secciones de firme específicas para travesías que se definen a continuación y que presentan una serie de ventajas adicionales en este tipo de situaciones:

- Tienen un comportamiento adecuado pese a sufrir continuas operaciones de apertura y cierre de zanjas para la colocación de conducciones de servicio o reparación de las existentes.
- Se trata de firmes de elevada durabilidad, de manera que se evitan los refuerzos de gran espesor y, en consecuencia, la disminución de la altura de los bordillos.
- Se minimizan los efectos que las vibraciones debidas a la compactación de las capas pudieran tener sobre los edificios y estructuras colindantes.

Entre las secciones específicas para travesías se puede optar por la utilización de secciones de tipo mixto con pavimento bituminoso y base de hormigón magro vibrado (tabla 11.1), o bien por el empleo de secciones rígidas con pavimento de hormigón vibrado (tabla 11.2).

En el primer caso, se podrán utilizar las secciones definidas en la tabla 11.1 para cualquier categoría de Explanada Mejorada, si bien en el caso de EX1 se deberá disponer una capa adicional de zahorra artificial de 20 cm de espesor entre la base de hormigón magro y el plano de explanada. Los materiales cumplirán en general las especificaciones y criterios definidos en el capítulo 7 “*Materiales para el firme*”, y en particular, el hormigón magro cumplirá las especificaciones del art. 551 del PG-3.

Tabla 11.1 Secciones de firmes mixtos para travesías

MATERIALES	T00	T0	T1	T2	T3 y T4
MEZCLA BITUMINOSA	15	12	10	8	6
HORMIGÓN MAGRO	30	28	25	22	20

Notas complementarias:

- Espesores de capa indicados en cm.
- Secciones análogas para EX2 y EX3. En caso de categoría EX1 de Explanada Mejorada se dispondrá una capa adicional de zahorra artificial de 20 cm entre la base de hormigón magro y el plano de explanada.

En el caso de firmes con pavimento de hormigón vibrado se proyectarán explanadas únicamente de las categorías EX2 ó EX3. En general, se dispondrá una capa de zahorra artificial de 20 cm de espesor bajo el pavimento de hormigón, excepto cuando el plano de explanada esté constituido por suelos estabilizados tipo S-EST3, en cuyo caso el pavimento se apoyará directamente sobre la capa estabilizada. El pavimento de hormigón se proyectará en masa con juntas transversales de contracción no distanciadas más de 4 m y sin pasadores. El hormigón vibrado será del tipo HF-4,5 para categoría de Tráfico

de Proyecto T2 ó superior, y del tipo HF-4,0 para las categorías inferiores, y cumplirá las prescripciones del art. 550 del PG-3.

Tabla 11.2 Secciones de firmes rígidos para travesías

MATERIALES	T00	T0	T1	T2	T3 y T4
HORMIGÓN VIBRADO	27	26	25	23	21
ZAHORRA ARTIFICIAL	20	20	20	20	20

Notas complementarias:

- Espesores de capa indicados en cm.
- Secciones válidas únicamente para explanadas de categorías EX2 ó EX3.
- Sobre explanadas de categoría EX3 con suelo estabilizado tipo S-EST3 no se dispondrá la subbase de zahorra artificial.

TÚNELES

A efectos de aplicación de la presente Norma, se considerará como túnel toda carretera cubierta, ya sea excavada en el terreno, o en falso túnel.

Para túneles cortos, de longitud inferior a 500 metros, no será necesario adoptar una sección especial de firme, pudiéndose disponer el mismo tipo que en las inmediaciones del túnel.

Para túneles largos, de longitud superior a 500 m, y con objeto de minimizar las operaciones de reparación en su interior, se proyectarán las secciones de firme indicadas en el capítulo 9 “Secciones de firme en calzada” con las siguientes prescripciones adicionales:

- Se incrementará en una categoría el Tráfico de Proyecto (salvo para el tráfico T00 en el que se aumentarán 3 cm los espesores de mezcla bituminosa).
- Se adoptará la categoría EX3 de Explanada Mejorada para cualquier categoría de Tráfico de Proyecto.

En relación con la explanada mejorada, se contemplarán las siguientes situaciones:

- En los túneles en los que el firme se apoya sobre la roca o suelo de la traza, y en los que no se disponga solera de hormigón, si se trata de roca, meteorizable o sana, se procederá a un relleno de oquedades y regularización con hormigón en un espesor mínimo de 15 cm sobre las crestas de la superficie existente, considerándose como explanada de categoría EX3. Si se trata de roca sana se podrá alternativamente regularizar con zahorra artificial en un espesor mínimo de 20 cm y se considerará entonces como una explanación de suelo seleccionado. Si se trata de suelo se le dará el mismo tratamiento que en carreteras al aire libre.
- En las secciones de firmes apoyadas en roca terminadas en solera de hormigón en masa con un espesor mínimo de 25 cm, se considerará la solera como capa de base y se aplicarán los recubrimientos bituminosos definidos en el capítulo 9 “Secciones de firmes en calzada” para las secciones tipo 2.2. Si el espesor es inferior a 25 cm se considerará simplemente como una regularización de hormigón.

- En las secciones de firmes apoyadas en suelo terminadas en solera de hormigón en masa con un espesor mínimo de 25 cm, se considerará la solera como capa de base y se aplicarán los recubrimientos definidos en el capítulo 9 “Secciones de firmes en calzada” para las secciones tipo 2.1. Si el espesor es inferior a 25 cm se considerará simplemente como una regularización de hormigón.
- En secciones de túnel en contrabóveda, se dispondrá en el fondo del firme una zorra artificial drenante, provista de los elementos correspondientes de evacuación de agua. Sobre ella se dispondrá una capa de hormigón de 20 cm de espesor como mínimo para facilitar el paso de obra. La explanada así formada se clasificará como EX3.
- Si el túnel cuenta con una solera de hormigón armado o pretensado de al menos 25 cm de espesor, se proyectará una solución similar a las señaladas para obras de paso, consistente en una regularización, impermeabilización y pavimento.

Si se proyecta un firme con pavimento bituminoso, queda expresamente prohibido el uso de capas de rodadura de mezcla drenante, y en general todas aquellas con un contenido de huecos en mezcla superior al 15%, por el peligro potencial que supone el movimiento de líquidos inflamables a través de ellas en caso de incendio. Si este tipo de mezcla se utilizara en los accesos al túnel, el cambio se efectuará dentro del túnel a 50 m de las embocaduras, con el fin de evitar crear un punto singular en caso de lluvia a la entrada o salida del túnel.

En túneles largos son también muy adecuados los firmes rígidos. Se puede optar por las secciones indicadas en el catálogo de la Norma 6.1- IC del Ministerio de Fomento. Se seguirán los criterios de proyecto definidos en esta última norma para el diseño de los pavimentos de hormigón.

OBRAS DE PASO

El pavimento del tablero de una obra de paso deberá cumplir la doble función de proporcionar una adecuada rodadura al tráfico y proteger e impermeabilizar el tablero ante la acción directa del tráfico y de la intemperie, particularmente en climas o ambientes agresivos.

En general, el tratamiento de protección del tablero previo a la disposición del pavimento constará de lo siguiente:

- Preparación del tablero.
- Riego de imprimación del tablero, en su caso.
- Regularización del tablero, en su caso.
- Capa o sistema de impermeabilización.
- Tratamiento de protección de la impermeabilización, en su caso.

La capa o sistema de impermeabilización puede estar formado por láminas de sistemas poliméricos o polimérico-bituminoso fabricadas in situ, por másticos bituminosos fabricados en frío o en caliente o por láminas asfálticas prefabricadas, de comportamiento debidamente contrastado. Cada sistema de impermeabilización tiene su forma de aplicación por lo que algunas de las actuaciones enumeradas pueden no ser necesarias.

El pavimento sobre la impermeabilización será función de la categoría de Tráfico de Proyecto:

- Con tráfico T2 ó superior, se proyectará una mezcla bituminosa en caliente de 10 cm de espesor, en dos capas, una intermedia, formada por una mezcla bituminosa de tipo denso o semidenso (según art. 542 del PG-3) de tamaño máximo nominal de árido no superior a 12 mm, y una capa de rodadura formada por mezcla bituminosa de tipo denso o semidenso (según art. 542 del PG-3) o bien de tipo discontinuo (según art. 543 del PG-3). La capa intermedia no será necesaria cuando se haya regularizado el tablero directamente sobre el riego de imprimación.
- Con tráfico T3 ó inferior, el firme estará compuesto por una única capa de mezcla bituminosa en caliente de tipo denso o semidenso (según art. 542 del PG-3) o bien por una mezcla bituminosa de tipo discontinuo (según art. 543 del PG-3).

Se pueden utilizar capas de rodadura de mezcla bituminosa drenante (según art. 543 del PG-3) para dar continuidad a la rodadura de los firmes adyacentes, siempre y cuando la obra de paso no se encuentre en zona con riesgo de heladas.

En caso de proyectar rodaduras de mezcla drenante o discontinua, se dispondrá bajo las mismas una capa de 5 cm de mezcla bituminosa en caliente de tipo denso o semidenso.

En tableros de puentes muy flexibles, para cualquier categoría de Tráfico de Proyecto, se tendrá que impermeabilizar el tablero y extender una capa de rodadura delgada muy resistente a la fatiga. Se recomienda utilizar una de las siguientes soluciones:

- Una capa de 5 cm de mezcla bituminosa tipo densa o semidensa (según art. 542 del PG-3) con ligante modificado del tipo PMB 45/80-60 ó PMB 45/80-65.
- Una capa de 2 a 3 cm de mezcla bituminosa discontinua (según art. 543 del PG-3) con un fuerte riego de adherencia ($>0,30 \text{ kg/m}^2$ de betún residual para mezclas BBTM B y $0,25 \text{ kg/m}^2$ para mezclas BBTM A) y ligante modificado del tipo PMB 45/80-60 ó PMB 45/80-65.

ENSANCHES DE CALZADA

Los ensanches de calzada consisten en la construcción de un firme nuevo a uno o ambos márgenes de otro existente de manera que se consiga una plataforma de mayor anchura. Este tipo de construcción se hace generalmente enrasando el firme nuevo con el antiguo y reforzando luego toda la calzada con una o varias capas de mezcla bituminosa.

El diseño del firme del ensanche deberá cumplir con lo indicado en esta Norma para firmes de nueva construcción y, en particular, su dimensionamiento se llevará a cabo mediante el catálogo general de secciones de firme presentado en el capítulo 9, con las siguientes particularidades:

- El Plano de la Explanada del firme nuevo quedará enrasado con el del firme existente o bien situado por debajo del mismo.
- Para reducir el riesgo de deformaciones diferenciales en el borde del ensanche resulta conveniente que la Explanada Mejorada sea de la mayor categoría posible (EX2 ó EX3)

y, en todo caso, siempre se debe estudiar la conveniencia de estabilizar la explanada, especialmente si los suelos del apoyo son de baja capacidad de soporte.

- Por la misma razón anterior, en general, la solución de firme debe presentar mayor rigidez que la del firme existente.

Se deberá estudiar el drenaje del firme, especialmente si el firme existente contiene capas muy permeables, en cuyo caso se les debe dar continuidad bajo el ensanche hasta un sistema de drenaje adecuado.

En el diseño del refuerzo del firme existente es conveniente enrasar la base o subbase del ensanche con la capa superior del firme existente y extender en toda la anchura el refuerzo requerido. Para la aplicación de las secciones del catálogo se considerará que el espesor del refuerzo forma parte del espesor total del firme de nueva construcción.

En ocasiones, cuando es necesaria una corrección de peraltes, se puede minimizar el volumen necesario de mezcla bituminosa de refuerzo extendiendo primero las capas de corrección de peralte en el firme existente y construyendo posteriormente el ensanche de manera que la base o subbase quede enrasada con la nueva superficie. No obstante, esta solución resulta más crítica que la primera en lo relativo a la posible aparición de grietas en el borde del ensanche.

Las capas del firme existente se deberán retranquear de manera que no coincidan las distintas juntas longitudinales. La junta de la última capa de enrase se deberá situar fuera de la línea de rodada de los vehículos.

El diseño del firme debe considerar la situación de peligro que se crea debido a la presencia del escalón lateral durante la construcción del ensanche. En este sentido, sin perjuicio de las medidas de señalización y balizamiento que se adopten en obra, se deben buscar soluciones que minimicen los plazos de construcción de capas sucesivas.

FIRMES PROVISIONALES

Se entiende por firmes provisionales aquellos proyectados para un período de tiempo limitado. En general, serán necesarios en alguna de las siguientes situaciones:

- cuando se esperen asientos considerables en los terraplenes,
- cuando sea necesaria la construcción de desvíos provisionales, o
- cuando el clima sea desfavorable para la construcción de la capas superiores del firme.

La construcción del firme definitivo deberá estar obligatoriamente contemplada en el proyecto del firme provisional, y por tanto, no se podrá considerar el firme provisional como parte de una estrategia de construcción por etapas, a medio o largo plazo.

En el caso de que se esperen asientos en el terraplén, no se podrán emplear secciones de firme con capas inferiores tratadas con cemento, siendo los más recomendables los firmes formados por mezclas bituminosas y capas granulares.

Cuando sea necesaria la construcción de firmes para desvíos provisionales se justificará su sección mediante el catálogo general de secciones de firme presentado en el capítulo

9, determinándose la categoría de Tráfico de Proyecto a partir del tráfico pesado que se estima circulará por el desvío provisional durante el período de tiempo que vaya a permanecer en servicio.

Los firmes provisionales se proyectarán siempre con todo el espesor de las capas de base que correspondan al firme definitivo y un pavimento que dependerá de la categoría de Tráfico de Proyecto:

- Con categoría T2 ó superior, se colocará una capa de mezcla abierta en frío sellada con un microaglomerado en frío, o bien una capa de 6 cm de gravaemulsión sellada con un tratamiento superficial.
- Con categoría T3 ó inferior, será suficiente un triple tratamiento superficial.

ZONAS DE ESTACIONAMIENTO Y PARADA

En zonas de estacionamiento y parada, como bahías de autobuses o paradas de peaje, el diseño del firme está condicionado fundamentalmente por la reducida velocidad de circulación de los vehículos así como su detención, lo que origina una considerable disminución de rigidez y una importante fluencia de los materiales bituminosos, lo cual se manifiesta en el desarrollo de roderas y afecta muy negativamente a las capas inferiores del firme.

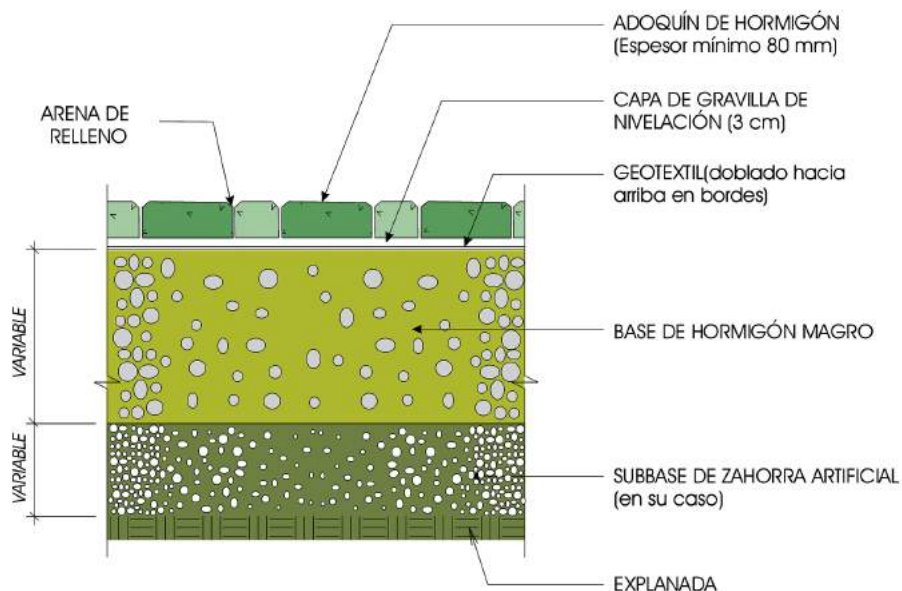
Otro problema añadido que presentan estas áreas es el frecuente derrame de aceites y combustibles, que deterioran rápidamente el pavimento si éste es bituminoso.

Por todo ello, conviene pavimentar estas zonas con materiales que presenten un buen comportamiento frente a las deformaciones plásticas y capaces de resistir los derrames de combustible sin deteriorarse. Los pavimentos más recomendables son las losas de hormigón (se pueden utilizar los firmes de la tabla 11.2 indicados para travesías), los pavimentos de adoquines, e incluso pavimentos de mezcla bituminosa siempre que sea resistente a los derrames de combustibles.

En caso de disponer un pavimento bituminoso se utilizarán ligantes resistentes a los combustibles en la capa superior o bien se protegerá la mezcla bituminosa con un microaglomerado en frío o tratamiento superficial que incorpore este tipo de ligante. En los 15 cm superiores se podrán utilizar mezclas bituminosas de alto módulo (en capa intermedia) o convencionales, si bien en este último caso se deberán diseñar con betún modificado de los tipos PMB 25/55-65, PMB 45/80-60 o PMB 54/90-65, o, al menos, con betún asfáltico de baja penetración tipo 35/50.

Los firmes de adoquines estarán formados por el pavimento de adoquines de hormigón (según UNE 127015) apoyado sobre una capa fina de gravilla, una capa de base de hormigón magro, y en su caso, una subbase granular de zahorra artificial (ver figura 11.1).

Figura 11.1. Sección de firmes con pavimento de adoquines



Las secciones de firme con pavimento de adoquín se dimensionarán de acuerdo con el catálogo de secciones de la tabla 11.3. Las secciones serán válidas únicamente para explanadas de categorías EX2 ó EX3. Sobre explanadas de categoría EX3 con suelo estabilizado tipo S-EST3 no se dispondrá la subbase de zahorra artificial.

Tabla 11.3 Firmes con pavimento de adoquines para zonas de estacionamiento y parada

MATERIALES	T00	T0	T1 y T2	T3 y T4
ADOQUÍN PREFABRICADO	10	10	8	8
GRAVILLA 2/6	3	3	3	3
HORMIGÓN MAGRO	30	25	20	18
ZAHORRA ARTIFICIAL	20	20	15	15

Notas complementarias:

- Espesores de capa indicados en cm.
- Secciones válidas únicamente para explanadas de categorías EX2 ó EX3.
- Sobre explanadas de categoría EX3 con suelo estabilizado tipo S-EST3 no se dispondrá la subbase de zahorra artificial.

La capa de gravilla realiza una función de apoyo del adoquín permitiendo su correcta compactación y nivelación, desempeñando además una función drenante. La gravilla se debe ajustar a la granulometría de la tabla 11.4 y se dispondrá en capas de 3 cm de

espesor. Para evitar problemas de friabilidad y desgaste del árido, se recomienda evitar la utilización de áridos calizos¹.

Las juntas entre adoquines se sellarán con una arena fina que cumpla la granulometría indicada en la tabla 11.4. Esta arena de sellado tiene una enorme influencia en el comportamiento estructural del pavimento ya que confina los adoquines y ayuda a transmitir las cargas verticales.

Tabla 11.4 Granulometrías de arenas de nivelación y sellado

Tamiz (mm)	Gravilla de nivelación	Arena de Sellado
8	100	—
4	50-85	—
2	10-50	100
1	0-5	80-100
0,5	—	50-80
0,25	—	25-50
0,125	—	12-25
0,063	—	4-8

Se deben proyectar bordes de confinamiento en el perímetro del pavimento de adoquines para evitar el desplazamiento de las piezas, la apertura de las juntas y la pérdida de trabazón entre los adoquines. En general los bordes de confinamiento deben presentar un paramento vertical y es conveniente que se realicen mediante elementos prefabricados de hormigón.

En ningún caso se debe permitir el tráfico hasta finalizar la ejecución de los bordes de confinamiento y la operación de sellado de los adoquines.

En general, se realizarán juntas, longitudinales y transversales, en la base de hormigón magro cuando la anchura de extendido supere los 7 m, y se interpondrá un geotextil de separación entre la capa de gravilla de nivelación y la base de hormigón magro. La fisuración se podrá realizar en fresco o en el material ya endurecido por serrado de al menos un tercio del espesor de la capa.

LECHOS DE FRENADO

En ciertos tramos con pendientes prolongadas se considerará justificado disponer lechos de frenado de acuerdo con los criterios de implantación establecidos en la Orden Circular

¹En todo caso, se podrá utilizar árido calizo cumpliendo las siguientes limitaciones: Friabilidad de la arena (FA) ≤ 40 (ensayo UNE-EN 1097-1) y resistencia al desgaste de la grava ≤ 40 (ensayo de Los Ángeles UNE-EN 1097-2).

321/95 “Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de Vehículos” de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

El lecho estará constituido por una cama de material disgregado, de tal forma que se consiga la detención del vehículo al hundirse sus ruedas en el material granular.

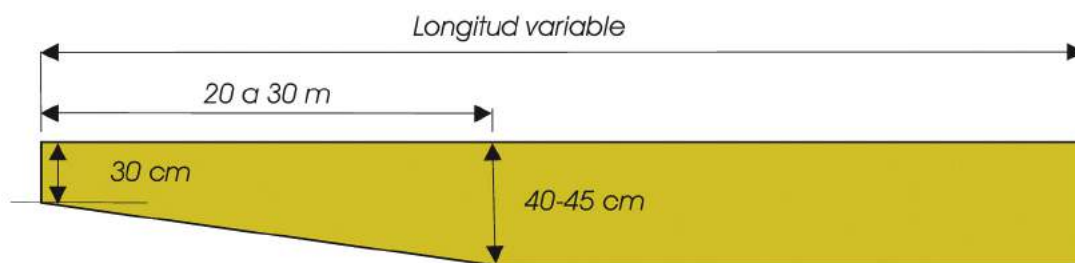
La capa granular estará formada a base de gravas naturales limpias de partículas redondeadas no procedentes de machaqueo. En concreto, se recomienda el uso de gravilla rodada suelta de tamaño 5/10 mm.

Se deberá asegurar la capacidad drenante del material granular así como proyectar los dispositivos de drenaje necesarios para impedir la retención de agua que en caso de helarse reduciría notablemente la función desaceleradora del lecho de frenada.

El material de relleno estará contenido entre 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 aumentará progresivamente durante los primeros 20 a 30 m, desde unos 30 cm, a la entrada del lecho, hasta un espesor de unos 40 a 45 cm que se mantendrá hasta el final del lecho de frenado (ver figura 11.2). Esta disposición tiene por objeto permitir una transición suave en la entrada y el hundimiento progresivo del vehículo y, al mismo tiempo, que se logre una pendiente suficiente para facilitar el drenaje.

Figura 11.2 Esquema de sección longitudinal en lecho de frenado



En cuanto a la longitud y anchura del lecho se deberá cumplir lo especificado al respecto en la Orden Circular 321/95.

Debido a que los vehículos generalmente están en el lecho en condiciones fuera de control, y que además, una vez que están en el lecho, al conductor le resulta muy difícil dirigir el vehículo, se debe necesariamente disponer una barrera de alto nivel de contención en el lado del lecho más alejado de la calzada.

12. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

DISPOSICIÓN TRANSVERSAL

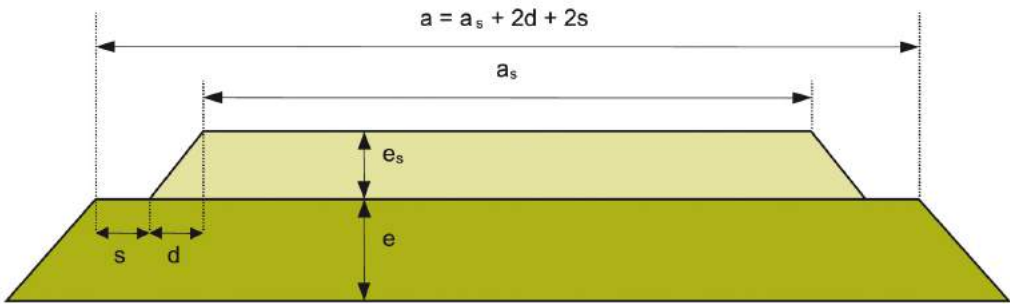
En la disposición de las distintas capas del firme en la sección transversal se cumplirán las siguientes prescripciones:

- La anchura de la capa superior del pavimento rebasará a la teórica de la calzada, incluido el sobreancho en curva, al menos en 20 cm por cada borde.
- Cada capa del firme tendrá una anchura, a , en su cara superior, igual a la de la capa inmediatamente superior, a_s , más la suma de los sobreanchos d y s indicados en la tabla 12.1 (ver figura 12.1). El sobreancho se podrá aumentar si así lo exigiera el disponer de un apoyo para la extensión de la capa superior.

Tabla 12.1 Valores de los sobreanchos (en cm)

POR DERRAMES (d)	Hormigón		0
	Otros materiales		e_s
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

Figura 12.1 Esquema de disposición transversal del firme



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

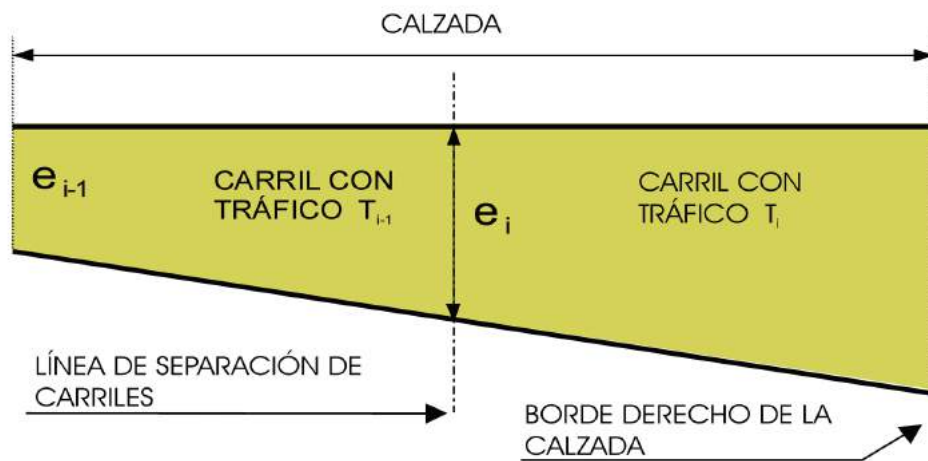
- La anchura de la Explanada Mejorada compactada se prolongará de tal manera que permita que la berma, incluyendo derrames y sobrecanchos, apoye directamente sobre ella.
- Se eliminarán los excesos laterales sin la compactación adecuada, excepto si forman parte del borde exterior de la plataforma.

VARIACIÓN DE SECCIONES ENTRE CARRILES

Se podrán considerar, salvo para la categoría de Tráfico de Proyecto T4, secciones de firme distintas entre carriles de una misma calzada cuando disponga de dos o más carriles por sentido de circulación, con las siguientes prescripciones:

- La máxima diferencia de categoría de Tráfico de Proyecto entre carriles será de una.
- Se mantendrá la misma categoría de Explanada Mejorada.
- Se utilizará la misma tipología de sección de firme.
- Las variaciones de espesor se harán en la capa resistente, entendiendo por tal aquella que tenga mayor rigidez (mezclas bituminosas en firmes tipo 1, suelocemento en firmes tipo 2.1, y gravacemento en firmes tipo 2.2 y 2.3), sin incumplir las limitaciones de espesor contenidas en la presente Norma.
- Las variaciones de espesor serán transversalmente lineales, debiendo mantenerse los espesores mínimos correspondientes en el borde izquierdo (según el sentido de circulación) de cada carril (ver figura 12.2).
- La compensación de las variaciones de espesor para mantener las pendientes transversales mínimas en el cimiento del firme, se harán en la capa inferior del firme o la superior de las capas de la Explanada Mejorada.

Figura 12. 2 Esquema de variación de espesor entre carriles



e_i : espesor de proyecto de la capa resistente

DRENAJE DE LAS CAPAS DE FIRME

En ocasiones el agua de lluvia que cae sobre la calzada se infiltra a través de las fisuras, juntas o huecos de la capa de rodadura y se mueve por el interior de la estructura del firme por efecto de la gravedad. Para evacuar el caudal de infiltración podrán utilizarse capas drenantes que conduzcan el agua hacia sistemas de recogida entre los que se pueden citar:

- Zanjas drenantes longitudinales dotadas de una tubería porosa o ranurada que capte el caudal y lo dirija hacia los desagües o los tubos colectores encargados de llevar el agua hacia el exterior del firme (figura 12.3).
- Cunetas situadas en el borde exterior de la calzada (figura 12.4).

Figura 12. 3 Desagüe de capa drenante a dren longitudinal

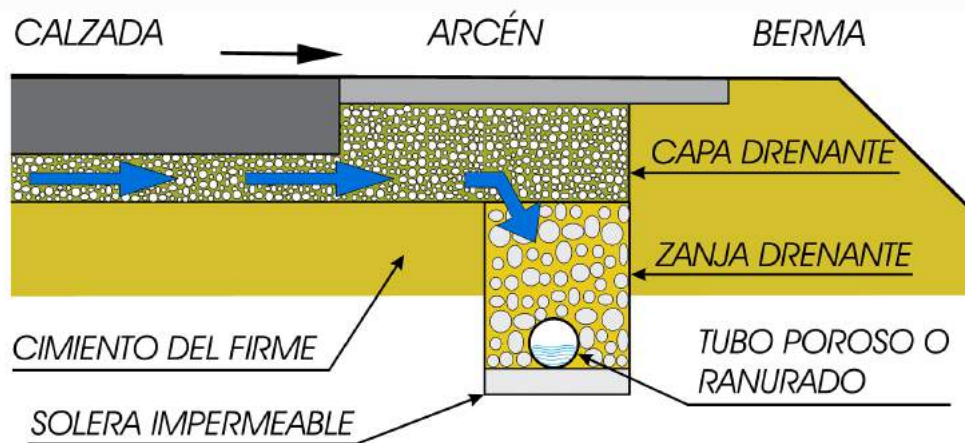
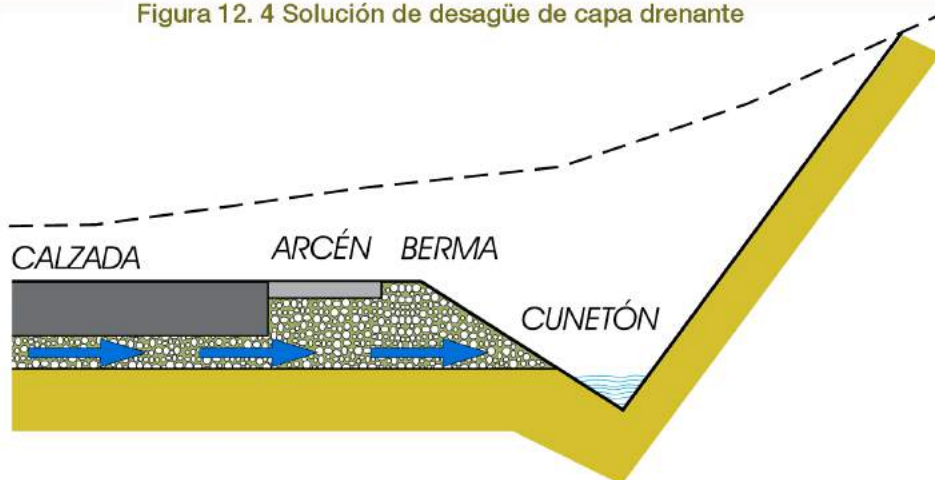


Figura 12. 4 Solución de desagüe de capa drenante



Se ha de tener en cuenta la disposición de pendientes de calzada y arcén a efectos de colocación de drenajes, especialmente si la pendiente del arcén vierte hacia la calzada. En el caso de que la calzada dispusiera de una capa inferior drenante o un geotextil, se prolongarán bajo el arcén hasta desaguar a un sistema de drenaje adecuado.

Nunca se desaguará el agua de la capa drenante a los bordes del terraplén.

En las zonas más críticas se analizará la trayectoria del agua a través de la capa drenante; disponiendo zanjias transversales de intercepción en función de las pendientes de la explanada, para limitar el recorrido máximo del agua y el tiempo de saturación.

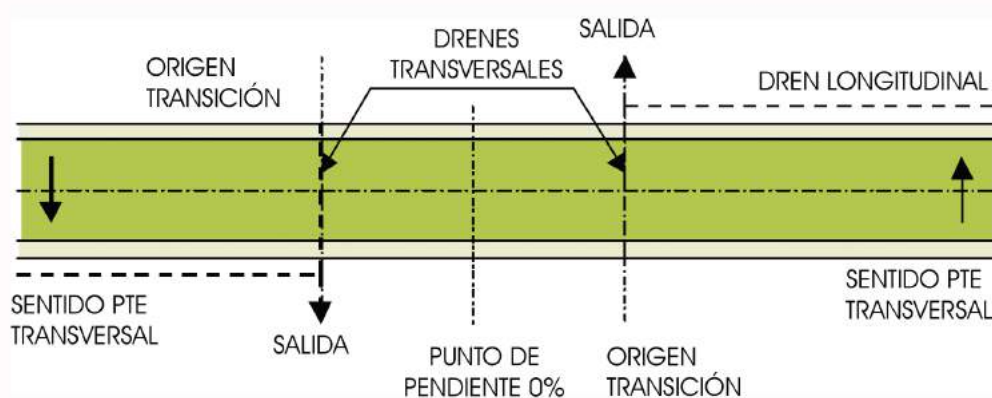
Cuando sea previsible la contaminación de la capa drenante con finos procedentes del cimiento se intercalará entre ambas un geotextil.

Las capas drenantes serán de materiales granulares, siempre que cumplan las especificaciones complementarias necesarias para este cometido¹. La capa drenante conservará la misma pendiente transversal que la del pavimento.

Se pueden utilizar dos tipos fundamentales de zanjias drenantes que son:

- Zanjias drenantes longitudinales: conviene ubicarlas en los laterales del firme, al borde de la capa drenante, bajo los arcenes.
- Zanjias drenantes transversales: se dispondrán siempre en puntos determinados, tales como transiciones de peralte (ver figura 12.5), puntos bajos del trazado, transiciones de desmonte a terraplén y viceversa, o carreteras de fuerte pendiente (> 5%). En general, se situarán a una distancia comprendida entre 0,7 y 2 veces la anchura de la calzada.

Figura 12. 5 Disposición de drenes en zonas de transición de peralte



La anchura de la zanja será, como mínimo, el diámetro exterior de la tubería drenante ($\varnothing_p$) más un resguardo a cada lado ($\geq 1/2\varnothing_p$). En el caso de que se emplearan zanjadoras automáticas esta anchura se debe aumentar hasta hacerse compatible con el uso de la

¹ En general se podrían utilizar para este fin zahorras artificiales con granulometría discontinua ZAD20 (según artículo 510 del PG3) o bien zahorras artificiales de granulometría continua en la parte baja del huso.

maquinaria. La profundidad será la mínima requerida para la correcta puesta en obra de todos los materiales.

Se utilizarán filtros en general de tipo textil en las capas drenantes para protegerlas de la posible colmatación y contaminación por finos procedentes de otras capas del firme o del cimiento, y en las zanjas drenantes para proteger el relleno y la tubería de la colmatación y contaminación por finos procedentes de las capas del firme que la rodean.

Las distancias máximas entre las arquetas serán las mostradas en la tabla 12.2. Las arquetas de conexión de drenaje se dispondrán con carácter general a una distancia máxima de 60 m, y excepcionalmente a 75 m. En todo caso, se dispondrán arquetas en los cambios bruscos de alineación o de pendientes, en los puntos de unión drenes y de tuberías de desagüe, en los casos de drenes transversales, y en los puntos de unión con drenes longitudinales o con tuberías de desagüe.

Se debe prestar especial atención al diseño del drenaje de puntos bajos con rodaduras drenantes ya que se podrían producir retenciones de agua localizadas en la superficie del firme. En general se recurrirá a la realización de drenes transversales en espina de pez con la misma mezcla drenante así como aumentar el espesor de la capa drenante (5 a 6 cm).

Por otra parte, obras tales como ensanches de la calzada o cambios en el trazado afectan al drenaje subterráneo pues cambian las condiciones geométricas de la carretera, con lo que se hace indispensable la adecuación del sistema a la nueva geometría y el análisis de las conexiones con el sistema existente.

Cuando exista una capa permeable en el firme existente (p.e., macadam), el ensanche se construirá con capas de base con capacidad portante y permeabilidad adecuadas que en ningún caso será menor que la de las capas adyacentes del firme existente. Se compactará de forma que no haya asientos posteriores que produzcan escalonamientos en el firme debido a la discontinuidad que representan.

El sistema se complementará con zanjas drenantes longitudinales y transversales, tuberías colectoras y de desagüe y todos los elementos que sean necesarios para asegurar el correcto funcionamiento del drenaje subterráneo.

Tabla 12.2 Distancia máxima entre arquetas (m)

TRÁFICO	TIPO DE TERRENO		
	MONTAÑOSO	ONDULADO	LLANO
TO, T1, T2	100	80	60
T3, T4	120	100	80

En todos los casos en los que se produzcan cambios en el trazado, tales como rectificaciones en curvas, construcción de variantes, etc., se estudiarán detenidamente las características del terreno por el que va a discurrir el nuevo trazado y se proyectará el sistema de drenaje subterráneo teniendo en cuenta todo lo indicado en esta Norma.

Se tendrá un cuidado especial al conectar este nuevo sistema con el existente, para que no se produzcan obstrucciones, roturas o daños. Se realizarán las comprobaciones necesarias del sistema de drenaje de la carretera existente, en el tramo que no se va a modificar, para asegurar que puede conducir el caudal que le llegue desde aguas arriba procedente del nuevo sistema. En caso de no ser así, se modificarán los elementos del sistema de drenaje existente para poder evacuar todo el agua que le llegue de aguas arriba.

13. DEFINICIONES

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

Autopista.- Son autopistas las carreteras que, especialmente proyectadas, construidas y señalizadas como tales, cumplen todas las condiciones siguientes:

- Circulación exclusiva de vehículos automóviles.
- Calzadas distintas para cada sentido de la 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.
- No cruzan ni son cruzadas a nivel por ninguna senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía o servidumbre de paso alguno.
- No tienen accesos hacia o desde las propiedades colindantes.

Autovía.- Son autovías las carreteras que, no reuniendo todos los requisitos de las autopistas,

- Disponen para cada sentido de la circulación de calzadas distintas separadas entre sí salvo en puntos singulares o con carácter temporal.
- No cruzan ni son cruzadas a nivel por ninguna senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía o servidumbre de paso alguno.
- Carecen de accesos hacia o desde las propiedades colindantes, salvo específicas entradas o salidas limitadas en cuanto a su situación y distancias.

Base.- Capa del firme situada inmediatamente bajo el pavimento y por encima del plano de explanada. Como caso extremo, puede ser la capa superior del firme si no existe pavimento, o no existir si el pavimento apoya directamente en el cimiento. Se considera que existe base bituminosa cuando el espesor de mezcla bituminosa, incluido el pavimento, es igual o superior a 16 cm.

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

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

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 de tráfico dentro de unos límites fijados experimental o analíticamente.

Carretera convencional.- Son las carreteras que no reúnen las características para autopistas, autovías o vías rápidas.

Carril.- Subdivisión o banda de la calzada que permite la circulación de una fila de vehículos, generalmente delimitada por líneas de marcas viales, balizas, conos, clavos, etc.

Carril de proyecto.- Carril de la calzada para el que se dimensiona el firme y que soporta las mayores cargas de tráfico en la calzada, es decir, para el que se prevé un mayor tráfico de proyecto.

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

Categorías de tráfico de proyecto.- Intervalos que se establecen, a efectos del dimensionamiento de la sección del firme, en el número de vehículos pesados acumulados durante el período de proyecto.

Cimiento del Firme.- Conjunto de capas de suelos u otros materiales que se encuentra bajo el plano de explanada y comprende la Explanada Mejorada y el terraplén o el terreno natural subyacente.

Coeficiente de equivalencia.- Número de ejes-tipo a que equivale un conjunto de ejes de un vehículo cualquiera, 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.

Explanada mejorada.- Conjunto de capas de suelos u otros materiales que se encuentra 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 del agua mediante impermeabilización o evacuación, y obtener las superficies geométricas precisas.

Estructura del 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.

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

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

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

Núcleo o cuerpo 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. Está formado por la capa de rodadura y la capa intermedia, en su caso.

Período de proyecto.- Período de tiempo durante el cual se estima que la estructura del firme únicamente necesitará de mejoras de las características superficiales.

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 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.

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

Sección en desmonte.- 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.

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

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

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

Tráfico de proyecto (TP).- Es el número acumulado de vehículos pesados que se estima que circularán por el carril de proyecto durante el período de proyecto.

Tramo.- Longitud de vía o carretera entre dos secciones transversales de su trazado.

Tramo llano.- Toda combinación de pendientes y alineaciones, tanto horizontales como verticales, que permite a los vehículos pesados mantener al menos una velocidad

media de 80 km/h o aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos ligeros; estos tramos incluyen en general pequeñas rampas no superiores al 1 ó 2 %.

Tramo montañoso.- Toda combinación de pendientes y trazado, tanto horizontal como vertical, que obliga a los conductores de vehículos pesados a circular a velocidad sostenida en rampa a lo largo de distancias considerables o a intervalos frecuentes.

Tramo ondulado.- Toda combinación de pendientes y trazado, tanto horizontal como vertical, que obliga a los conductores de vehículos pesados a circular a una velocidad media menor de 80 Km/h o sustancialmente inferior a la de los vehículos ligeros, aunque sin llegar a su velocidad sostenida en rampa durante ningún período significativo de tiempo.

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. Tendrán una longitud mínima de 1 Km, o la correspondiente al proyecto de construcción si esta es menor.

Travesía.- Parte de tramo urbano en la que existan edificaciones consolidadas al menos en las dos terceras partes de su longitud y un entramado de calles al menos en uno de los márgenes.

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

Velocidad específica de un elemento de trazado.- Se define como la máxima velocidad que puede mantenerse a lo largo de un tramo, en condiciones de seguridad y comodidad, cuando, encontrándose el pavimento húmedo y los neumáticos en buen estado, las condiciones meteorológicas, del tráfico y legales son tales que no imponen limitaciones a la velocidad.

Velocidad de proyecto.- La velocidad de proyecto de un tramo se identifica con la velocidad específica mínima del conjunto de elementos que lo forman.

Velocidad permitida del tramo.- A efectos de la definición del firme (tabla 7.1), se asimilará a la velocidad de proyecto del tramo con el mismo tipo de firme.

Vías rápidas.- Son vías rápidas las carreteras que, disponiendo de una sola calzada para ambos sentidos de la circulación cumplen con las condiciones siguientes:

- Están destinadas a la exclusiva circulación de vehículos automóviles.
- No cruzan ni son cruzadas a nivel por ninguna senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía o servidumbre de paso alguno.
- Carecen de accesos hacia o desde las propiedades colindantes.

ANEJO 1. ESTUDIOS DE TRÁFICO

INTENSIDAD DEL TRÁFICO PESADO (IMD_p)

Para estimar la Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en el año de puesta en servicio del tramo, se deben conocer al menos los siguientes datos:

- Intensidad Media Diaria (IMD) de vehículos que circulan por el tramo en proyecto.
- Proporción de vehículos pesados respecto al total de vehículos.
- Previsión de aumento del tráfico pesado a corto plazo.
- Fecha estimada de puesta en servicio del tramo.

Vías de nueva construcción

En vías de nueva construcción, la IMD de vehículos pesados se ha de estimar a partir de los obtenidos en otras vías del corredor, encuestas de origen y destino, y de casos similares en el ámbito territorial considerado.

Acondicionamientos y mejoras

En acondicionamientos y mejoras de carreteras, se han de tener en cuenta los datos recogidos en los informes o mapas de aforos anuales elaborados por las distintas administraciones competentes. Estos datos se pueden complementar con aforos manuales o automáticos. Para determinar la IMD en el año de apertura al tráfico se deben realizar las estimaciones correspondientes a partir del año del aforo.

Tráfico inducido

Se debe estudiar específicamente el tráfico inducido y generado después de la puesta en servicio del tramo, que puede modificar sensiblemente las estimaciones de tráfico. Si de los estudios de tráfico pertinentes se deduce que la apertura del tramo inducirá un tráfico superior al calculado según el procedimiento descrito, se debe adoptar el valor del tráfico inducido.

Actualización de la IMD de vehículos pesados

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

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

Siendo:

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

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

r Tasa anual estimada de crecimiento del tráfico pesado entre el año del aforo o estudio específico y el año previsto de puesta en servicio del tramo, en tanto por uno.

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

Se puede tomar el parámetro r como el mayor de las medias de los cinco o de los tres últimos valores de crecimiento del tráfico recogidos en la serie histórica de los informes anuales de aforos. Si se desconoce la fecha de puesta en servicio del tramo se puede suponer que transcurrirán 3 años a partir de la fecha en que se redacte el proyecto (Véase *Ejemplo 1*).

Carreteras no aforadas

Cuando no se disponga de datos de aforos en carreteras interurbanas con una IMD_p estimada superior a 50, se recomienda realizar estudios específicos para su determinación. En aquellas otras con una IMD_p estimada menor de 50, se pueden realizar estudios específicos o adoptar las siguientes hipótesis:

- La IMD_p será inferior a 20 siempre que ninguna de las aglomeraciones urbanas que atraviese o conecte el tramo de proyecto tenga un número de habitantes superior a 1.000.
- La IMD_p estará comprendida entre 20 y 50 cuando alguna de las aglomeraciones urbanas que atraviese o conecte el tramo de proyecto tenga un número de habitantes superior a 1.000.

COEFICIENTE DE PONDERACIÓN (γ_T)

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

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

El coeficiente de ponderación de las cargas de tráfico γ_T viene definido por la siguiente expresión (véase *Ejemplo 2*):

$$\gamma_T = \gamma_C \cdot \gamma_L \cdot \gamma_R \quad [A1.2]$$

Siendo:

- γ_C Coeficiente de asignación del tráfico pesado al carril de proyecto.
- γ_L Coeficiente que tiene en cuenta la influencia de la pendiente longitudinal del tramo objeto del proyecto.
- γ_R Coeficiente que tiene en cuenta la variabilidad en la estimación del tráfico de proyecto.

Estimación del coeficiente γ_C

El coeficiente γ_C se utiliza para asignar al carril de proyecto un porcentaje estimado del total de vehículos pesados. Salvo que se disponga de datos sobre asignación de tráfico pesado por carriles, el valor del coeficiente se obtendrá de la Tabla A1.1.

Tabla A1.1 Estimación del coeficiente γ_c

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

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

Estimación del coeficiente γ_L

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

Estimación del coeficiente γ_R

El coeficiente de mayoración γ_R se utiliza para asumir en el dimensionamiento un nivel de riesgo en la estimación de las cargas de tráfico. El nivel de riesgo será función del tipo de red y de la intensidad de tráfico según se indica en la Tabla A1.2.

Tabla A1.2 Estimación del coeficiente γ_R

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

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

FACTOR DE CRECIMIENTO DEL TRÁFICO (F)

El factor de crecimiento, F, introduce en la estimación del tráfico el incremento de tráfico pesado que se espera que circule por la carretera durante el periodo de proyecto considerado. Depende de la tasa de crecimiento de este tipo de tráfico y del periodo de proyecto considerado.

En ausencia de datos fiables podrá adoptarse una tasa constante del 4% para tráficos T1 ó superiores y del 2% para tráficos T2 ó inferiores. De la aplicación de estas tasas resultan los valores de F indicados en la tabla A1.3.

Tabla A1.3 Tasa anual media de crecimiento del tráfico de vehículos pesados (periodo de proyecto: 20 años)

r (%)	F
4,0	30
2,0	25

Si se consideran estas tasas de crecimiento, la categoría de tráfico se podrá clasificar en función de la intensidad media diaria del tráfico pesado en el año de puesta en servicio ponderada $(IMD_P^{APS})^*$, que se define mediante la siguiente relación:

$$(IMD_P^{APS})^* = IMD_P \cdot \gamma_T \quad [A1.3]$$

Y la clasificación general se podrá sustituir por la de la tabla A1.4.

Tabla A1.4 Categorías de tráfico de proyecto. Método simplificado

CATEGORÍA DE TRÁFICO	$(IMD_P^{APS})^*$	
	(F=30)	(F=25)
T00	4.000 – 8.000	4.800 – 9.600
T0	2.000 – 4.000	2.400 – 4.800
T1A	1.400 – 2.000	1.680 – 2.400
T1B	800 – 1.400	960 – 1.680
T2A	400 – 800	480 – 960
T2B	200 – 400	240 – 480
T3A	100 – 200	120 – 240
T3B	50 – 100	60 – 120
T4A	25 – 50	30 – 60
T4B	< 25	< 30

Pese a que estos valores se consideran suficientemente ajustados para las condiciones generales de la Red de Carreteras del País Vasco, en situaciones concretas el Servicio de Carreteras competente podrá solicitar que se realice un estudio específico sobre la evolución

del tráfico pesado, lo que podría hacer variar la valoración del factor de crecimiento. En este caso, se debe realizar conforme a las directrices que se indican a continuación.

Estimación de la tasa de crecimiento del tráfico pesado

Cuando se deba estimar la tasa anual media de crecimiento del tráfico de vehículos pesados para un proyecto concreto se deben utilizar modelos que se basen en proyecciones hacia el futuro de series históricas complementados con las tendencias de otras variables como son la especialización funcional, la economía, la red viaria de cada territorio, factores políticos, etc.

Cálculo del valor F

El factor de crecimiento para una tasa anual de crecimiento, r , constante y un periodo de proyecto de n años, vendrá dado por la siguiente expresión:

$$F = [(1 + r)^n - 1] / r \quad [A1.4]$$

Donde,

r Tasa anual media de crecimiento del tráfico de vehículos pesados durante el periodo de proyecto considerado (en tanto por uno).

n Periodo de proyecto (en años).

Si se considera conveniente variar la tasa de crecimiento a lo largo del periodo de proyecto, en general se tendrán m periodos diferentes de duración n_i años cada uno durante los cuales la tasa de crecimiento anual tendrá un valor constante igual a r_i . Se debe cumplir por consiguiente:

$$\sum_{i=1}^m n_i = n \text{ (periodo de proyecto)} \quad [A1.5]$$

En este caso, el factor de crecimiento se obtendrá de la siguiente expresión:

$$F = C_1 + t_{C1} \cdot C_2 + t_{C1} \cdot t_{C2} \cdot C_3 + \dots + t_{C1} \dots t_{Cm-1} \cdot C_m \quad [A1.6]$$

Siendo,

C_i Factor de acumulación de tráfico en cada periodo.

$$C_i = \frac{(1+r_i)^{n_i} - 1}{r_i} \quad [A1.7]$$

t_{Ci} Tráfico al final de cada periodo.

$$t_{Ci} = (1 + r)^{n_i} \quad [A1.8]$$

Limitación por capacidad de la sección

El incremento del tráfico a lo largo del periodo de proyecto vendrá limitado, en cada caso, por la capacidad de la sección asociada a cada tramo del proyecto. A partir del momento en que la IMD_p alcance el valor máximo correspondiente al tipo de vía y tramo, se supondrá

constantemente igual a este valor hasta el final del período de cálculo, siempre que no se prevean actuaciones que puedan incrementar la capacidad de la carretera existente. El valor de esta capacidad, en términos de IMD, se deberá justificar convenientemente en el correspondiente estudio específico, para el que se puede utilizar el *Manual de Capacidad de Carreteras del TRB*¹.

Si no se dispone de un estudio específico, para carreteras de calzada única, dos carriles y doble sentido de circulación, se puede estimar su capacidad siguiendo las directrices que se indican en la Tabla A1.5 y siempre que las características del tramo se aproximen lo suficiente a las hipótesis consideradas.

Tabla A1.5 Máxima IMD de vehículos pesados en toda la calzada
(capacidad) por tipo de vía y tramo^(*)

TIPO DE VÍA	TIPO DE TRAMO		
	LLANO	ONDULADO	MONTAÑOSO
Calzada de 7 m y arcén $\geq 1,5$ m	9.000	4.000	2.000
Calzada de 6 m y arcén $\geq 0,5$ m	7.000	3.000	1.500
Calzada de 5 m y sin arcén	5.000	2.000	1.000

(*) Se han adoptado las siguientes hipótesis:

- 50% camiones.
- FHP=1; K (factor de la hora de proyecto) = 0,10.
- Reparto por carriles: 60/40.

EJEMPLOS

Ejemplo 1.- Actualización de la IMD_p

Se está realizando el proyecto de acondicionamiento de una carretera existente (año actual 2003). Se ha obtenido su IMD a partir del mapa de aforo del año 2001. Se ignora la fecha exacta de puesta en servicio del tramo.

Datos:

- IMD de vehículos pesados año 2001 = 976
- Tasa anual media de crecimiento del tráfico pesado en el periodo 1996-2001: 4% anual.
- Tasa anual media de crecimiento del tráfico pesado en el periodo 1998-2001: 3% anual.

Solución:

Se estima que se pondrá en servicio el tramo 3 años después de la redacción del proyecto, es decir, en el año 2006.

$$\text{IMD vehículos pesados año 2006} = 976 \times (1 + 0,04)^5 \approx 1.187$$

¹Transportation Research Board (TRB). "Highway Capacity Manual", National Research Council. Washington, D.C. TRB 2010.

Ejemplo 2.- Cálculo de la IMD de vehículos pesados ponderada (IMD_p^{APS})*

Datos:

La IMD total de una carretera de la Red Principal es de 12.000 vehículos y la IMD de vehículos pesados es de 1.142 en el año de puesta en servicio. La carretera es de dos carriles y doble sentido de circulación con anchura de calzada 10 m. El tramo incluye un subtramo de 2 Km con una pendiente longitudinal media del 6%. No se dispone de datos específicos sobre la distribución del tráfico por carriles.

Solución:

$$(IMD_p^{APS})^* = (IMD_p^{APS}) \cdot \gamma_T; \gamma_T = \gamma_C \cdot \gamma_R \cdot \gamma_L$$

- Carretera de dos carriles y doble sentido de circulación de anchura ≥ 6 m (Tabla 1) $\gamma_C = 0,50$
- Red principal con $IMD \geq 10.000$ y < 20.000 (Tabla 2): $\gamma_R = 1,30$
- Subtramo en rampa con pendiente 6% ($>5\%$): $\gamma_L = 1,30$

Por tanto, el coeficiente de ponderación será:

$$\gamma_T = \gamma_C \cdot \gamma_R = 0,50 \times 1,30 = 0,65$$

y la IMD_p ponderada:

$$(IMD_p^{APS})^* = 1.142 \times 0,65 \approx 750 \text{ veh. pesados}$$

y en el *subtramo en rampa* el coeficiente de ponderación será:

$$\gamma_T = \gamma_C \cdot \gamma_R \cdot \gamma_L = 0,50 \times 1,30 \times 1,30 = 0,85$$

y la IMD_p ponderada:

$$(IMD_p^{APS})^* = 1.142 \times 0,85 \approx 971 \text{ veh. pesados}$$

La IMD_p^{APS} 1.142 es menor de 1.600, luego se toma por defecto $r = 2\%$ y por tanto, $F = 25$

El Tráfico de Proyecto se obtendrá mediante la expresión:

$$TP = (IMD_p^{APS})^* \times 365 \times F = 750 \times 365 \times 25 = 6,843 \times 10^6 \text{ (T2A)}$$

$$TP \text{ (en rampa)} = 971 \times 365 \times 25 = 8,86 \times 10^6 \text{ (T1B)}$$

Ejemplo 3.- Categoría de tráfico por el método simplificado

Datos:

- Carretera con IMD de vehículos pesados = 1.800
- $\gamma_T = 0,70$

Solución:

$$(IMD_p^{APS})^* = 1.800 \times 0,70 \approx 1.260$$

Como la $IMD_p = 1.800 > 1.600$ [Tabla 5.4] $\rightarrow F = 30$ y se puede utilizar la columna de la izquierda de la Tabla A1.4 para definir la categoría de tráfico de proyecto.

$(IMD_p^{APS})^* = 1.260 \rightarrow$ entre 800 y 1.400 $\rightarrow$ Categoría de tráfico T1B.

En cualquier caso, el *Tráfico de Proyecto* será:

$$TP = 1.260 \times 365 \times 30 = 13,8 \text{ millones de vehículos pesados (T1B).}$$

Ejemplo 4.- Cálculo del factor de crecimiento (F)

Datos:

Se desea calcular el factor de crecimiento del tráfico de vehículos pesados en los 20 años del periodo de proyecto en dos supuestos: para una tasa anual de crecimiento constante del 3% y para una tasa anual de crecimiento variable, del 4% durante los primeros 5 años y del 3% durante los siguientes 15 años.

Solución:

En el primer supuesto, el factor de crecimiento valdrá:

$$F = [(1 + 0,03)^{20} - 1] / 0,03 \approx 27$$

Y en el segundo supuesto:

$$c_1 = [(1 + 0,04)^5 - 1] / 0,04 = 5,416$$

$$c_2 = [(1 + 0,03)^{15} - 1] / 0,03 = 18,599$$

$$t_{c1} = (1 + 0,04)^5 = 1,217$$

$$F = c_1 + t_{c1} \cdot c_2 = 5,416 + 1,217 \times 18,599 \approx 28$$

Ejemplo 5.- Limitación del crecimiento del tráfico por la capacidad

Datos:

Caso del ejemplo anterior suponiendo una tasa media anual de crecimiento del tráfico pesado del 4%. $IMD_p^{APS} = 1.142$ en toda la calzada en el año de puesta en servicio. Calzada de 7m y arcén de 1,5 m y terreno montañoso.

Solución:

Capacidad (Tabla 5.5): veh. pesados en calzada = 2.000

Por tanto, la IMD_p no debe superar el valor de la capacidad de la sección durante el periodo de proyecto (20 años). Se calcula en primer lugar el valor de la IMD_p en el año 20:

$$IMD \text{ vehículos pesados} = 1.142 \times (1 + 0,04)^{20} \approx 2.500$$

Este valor supera a la capacidad de la sección, lo que indica que en un determinado momento del periodo de proyecto el tráfico no puede seguir creciendo. Por tanto, a partir de ese momento la IMD permanecerá constante hasta el final del periodo de proyecto. Este año será:

$$2.000 = 1.142 \times (1 + 0,04)^n \rightarrow n \approx 14 \text{ años}$$

Entonces, habría que recalcular el valor original de F (30) considerando una tasa anual de crecimiento del 4% durante 14 años y sin crecimiento durante 6 años.

$$c_1 = [(1 + 0,04)^{14} - 1] / 0,04 = 18,3$$

$$c_2 = 6$$

$$t_{c1} = (1 + 0,04) = 1,73$$

$$F = c_1 + t_{c1} \cdot c_2 = 18,3 + 1,73 \times 6 \approx 28,7$$

ANEJO 2. ESCENARIOS DE CONSERVACIÓN

Para poder evaluar los costes de las operaciones ordinarias de conservación de firmes, de las rehabilitaciones superficiales o estructurales a lo largo del período de análisis y de reconstrucción al final de la vida de servicio, es necesario definir unos escenarios de conservación. En principio, deben obtenerse de los datos existentes en cada Diputación Foral, pero en caso de no disponer de ellos, podrán usarse los modelos expuestos en este Anejo.

ESCENARIOS DE CONSERVACIÓN PARA FIRMES TIPO 1

AÑOS	TRÁFICO				
	T0 Y T00	T1	T2	T3	T4
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	1%	1%	1%	-	-
5	1%	1%	1%	0,7%	-
6	1%	1%	1%	0,7%	-
7	MBD+1%	MBD + 1%	1%	0,7%	0,5%
8	1%	1%	1%	0,7%	-
9	1%	1%	MICROF + 1%	MICROF +0,7%	-
10	1%	1%	1%	0,7%	MICROF
11	1%	1%	1%	0,7%	-
12	10 cm MB	5 cm MB	1%	0,7%	-
13	-	-	5cm MB	5cm MB	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	0,5%
16	1%	1%	-	-	-
17	1%	1%	1%	0,7%	-
18	1%	1%	1%	0,7%	-
19	MICROF	MICROF	MICROF	MICROF	-
20	1%	1%	1%	0.7%	-
21	Fresado y repos. 25 cm + 5 cm MB	Fresado y repos.20 cm + 5 cm MB	Fresado y repos. 15 cm + 5 cm MB	Fresado y repos 10 cm + 5 cm MB	10 cm MB
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	1%	1%	1%	-	-
26	1%	1%	1%	0,7%	-
27	1%	1%	1%	0,7%	-
28	MBD + 1%	1%	1%	0,7%	0,5%
29	1%	MBD + 1%	1%	0,7%	-
30	1%	1%	1%	0,7%	-

MBD: Mezcla bituminosa discontinua en caliente.

MB: Mezcla bituminosa en caliente tipo hormigón bituminoso.

MICROF: Microaglomerado en frío.

S(%): Sellado del porcentaje de grietas aparecido en superficie, suponiendo que aparecen cada 7 m.

ESCENARIOS DE CONSERVACIÓN PARA FIRMES TIPO 2.1					
AÑOS	TRÁFICO				
	T0 Y T00	T1	T2	T3	T4
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	1%	1%	1%	-	-
7	MBD+1%	MBD + 1%	1%	0,7%	-
8	1%	1%	1%	0,7%	-
9	1%	1%	MICROF + 1%	MICROF + 0,7%	0,5%
10	1%	1%	1%	0,7%	TS
11	1%	1%	1%	0,7%	-
12	10 cm MB	5 cm MB	1%	0,7%	-
13	-	-	5cm MB	5 cm MB	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	1%	1%	-	-	-
17	1%	1%	1%	-	-
18	1%	1%	1%	0,7%	0,5%
19	MICROF	MICROF	MICROF	MICROF	-
20	1%	1%	1%	0,7%	-
21	Fresado y repos. 25 cm + 5 cm MB	Fresado y repos. 20 cm + 5 cm MB	Fresado y repos. 15 cm + 5 cm MB	Fresado y repos. 10 cm + 5 cm MB	10 cm MB
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	1%	1%	1%	0,7%	-
26	1%	1%	1%	0,7%	-
27	1%	1%	1%	0,7%	0,5%
28	MBD + 1%	1%	1%	0,7%	-
29	1%	MBD + 1%	1%	0,7%	-
30	1%	1%	1%	0,7%	-

MBD: Mezcla bituminosa discontinua en caliente.

MB: Mezcla bituminosa en caliente tipo hormigón bituminoso.

MICROF: Microaglomerado en frío.

S(%): Sellado del porcentaje de grietas aparecido en superficie, suponiendo que aparecen cada 7 m.

ESCENARIOS DE CONSERVACIÓN PARA FIRMES TIPO 2.2 y 2.3

AÑOS	TRÁFICO				
	T0 Y T00	T1	T2	T3	T4
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	S(10%)	S(10%)	S(10%)	-	-
6	1%	1%	1%	-	-
7	MBD+1%	MBD + 1%	1%	0,7%	-
8	1%	1%	1%	0,7%	-
9	1%	1%	MICROF + 1%	MICROF + 0,7%	0,5%
10	S(10%)+ 1%	S(10%)+ 1%	S(10%)+ 1%	0,7%	MICROF
11	1%	1%	1%	0,7%	-
12	10 cm MB	5 cm MB	1%	0,7%	-
13	-	-	5cm MB	5 cm MB	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	1%	1%	-	-	-
17	S(10%)+ 1%	S(10%)+ 1%	S(10%)+ 1%	-	-
18	1%	1%	1%	0,7%	0,5%
19	MICROF	MICROF	MICROF	MICROF	-
20	1%	1%	1%	0,7%	-
21	Fresado y repos. 15 cm + 8 cm MB	Fresado y repos. 15 cm + 8 cm MB	Fresado y repos. 12 cm + 5 cm MB	Fresado y rep 10 cm + 5 cm MB	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	1%	1%	1%	0,7%	-
26	S(10%)+ 1%	S(10%)+ 1%	S(10%)+ 1%	0,7%	-
27	1%	1%	1%	0,7%	0,5%
28	MBD + 1%	1%	1%	0,7%	-
29	1%	MBD + 1%	1%	0,7%	-
30	1%	1%	1%	0,7%	-

MBD: Mezcla bituminosa discontinua en caliente.

MB: Mezcla bituminosa en caliente tipo hormigón bituminoso.

MICROF: Microaglomerado en frío.

S(%): Sellado del porcentaje de grietas aparecido en superficie, suponiendo que aparecen cada 7 m.

ANEJO 3. ÁRIDOS SIDERÚRGICOS DE HORNO ELÉCTRICO PARA MEZCLAS BITUMINOSAS

DEFINICIÓN

Escoria de horno eléctrico es el material de origen industrial procedente de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico que se forma durante el proceso de fusión, afino o elaboración del acero y que se separa de él debido a su menor peso específico.

Este artículo se refiere a escorias negras de horno eléctrico, consideradas como las que se obtienen en el proceso de fusión de la chatarra. Cuando la escoria negra de horno eléctrico se utiliza como árido para la construcción se denomina árido siderúrgico de horno eléctrico.

No se considera aquí la escoria blanca de horno eléctrico, que es la que se produce durante la operación de afino del acero fundido, y que no es de utilización en carreteras, ni sola ni mezclada, por su expansividad potencial.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

En la fabricación de mezclas bituminosas se podrán utilizar áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico como árido grueso y árido fino o combinaciones de estas con áridos naturales o artificiales siempre que el material combinado cumpla las especificaciones del presente artículo.

Las mezclas bituminosas fabricadas con áridos siderúrgicos de horno eléctrico deben cumplir las prescripciones de los correspondientes artículos 542 y 543 del Pliego General de Prescripciones Técnicas para Obras de Carreteras y Puentes PG-3 vigente o, en su caso, con las prescripciones técnicas particulares para mezclas bituminosas que acompañen al proyecto.

Las escorias negras habrán sido envejecidas con riego de agua durante un período mínimo de tres meses, tras someterlas previamente al menos a un proceso de machaqueo, cribado y eliminación de elementos metálicos y otros contaminantes, de manera que se cumplan las cláusulas del presente artículo.

Los áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración físico-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 o a otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua. Los resultados de los ensayos de lixiviación según la norma europea EN 12457-2 deberán cumplir los requisitos incluidos en el Decreto de valorización de escorias del Gobierno Vasco.

El árido siderúrgico de horno eléctrico deberá presentar una expansividad inferior al 3,5% (categoría $V_{3,5}$) según la norma UNE-EN 1744-1. La duración del ensayo será de ciento sesenta y ocho horas (168 h). Además, el resultado del índice IGE según la Norma NLT-361 será inferior al 1%. El contenido de cal libre del árido siderúrgico de horno eléctrico debe ser inferior al 0,5%, determinado según la Norma UNE-EN 1744-1.

El contenido ponderal de sulfatos solubles en agua, determinado según la UNE-EN 1744-1, será inferior al 0,2% (categoría $SS_{0,2}$) donde los materiales estén en contacto con capas tratadas con cemento, e inferior al 0,7% (categoría $SS_{0,7}$) en los demás casos.

Previamente a la aceptación del árido siderúrgico de horno eléctrico se deberá aportar documento acreditativo del origen del material, de que la valorización de la escoria está autorizada por el órgano ambiental del País Vasco y la certificación que acredite, a los solos efectos ambientales, la idoneidad de las características de las escorias valorizadas para el uso propuesto. El suministrador de escoria deberá certificar que el árido siderúrgico de horno eléctrico procede de un gestor autorizado de escorias negras y que no se encuentran mezcladas con escorias blancas ni otros contaminantes. Se incluirán en el certificado las condiciones de envejecimiento de las escorias y los contenidos de CaO libre y MgO total.

Las prescripciones para áridos gruesos y finos serán las mismas que las que se fijan en los artículos correspondientes del PG-3 o de las prescripciones técnicas particulares para mezclas bituminosas con las excepciones que se indican en los apartados siguientes.

ÁRIDO GRUESO

El árido grueso podrá estar formado por combinaciones de árido siderúrgico de horno eléctrico con otros áridos.

El árido grueso deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga, elementos metálicos, refractarios, partículas de cal u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.

ÁRIDO FINO

El árido fino podrá estar formado por combinaciones de árido siderúrgico de horno eléctrico con otros áridos.

El árido fino deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga, elementos metálicos, refractarios, partículas de cal, marga y otras materias extrañas.

TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

Cuando se utilicen áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico se deberán modificar las prescripciones correspondientes del PG-3 en lo siguiente:

Las granulometrías de las mezclas bituminosas deberán tomarse en volumen considerando que las que se encuentran en las tablas se refieren a áridos en peso.

Las dotaciones mínimas de betún fijadas deberán tomarse en volumen considerando que las que se encuentran en las tablas se refieren a un árido con un peso específico de 2,65 g/cm³.

Las relaciones recomendables polvo mineral-ligante deberán tomarse en volumen considerando que las que se encuentran en las tablas se refieren a un árido con un peso específico de 2,65 g/cm³.

CONTROL DE CALIDAD

Si se utiliza árido siderúrgico de horno eléctrico, a los ensayos de control de procedencia de los áridos que figuran en el PG-3 se añadirán los siguientes:

- determinación del grado de envejecimiento en escorias de acería, según la Norma NLT-361,
- contenido de cal libre, CaO, según la Norma UNE-EN 1744-1,
- contenido de magnesio total, según la Norma UNE-EN 196-2, y
- contenido ponderal de sulfatos solubles en agua, determinado según la Norma UNE-EN 1744-1.

Además, en el control de calidad de los áridos, al párrafo:

“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.
- 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.”

Deberá añadirse:

- Grado de envejecimiento de escorias negras de acería, según la Norma NLT-361.

ANEJO 4. ÁRIDOS SIDERÚRGICOS DE HORNO ELÉCTRICO PARA ZAHORRAS

DEFINICIÓN

Escoria de horno eléctrico es el material de origen industrial procedente de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico que se forma durante el proceso de fusión, afino o elaboración del acero y que se separa de él debido a su menor peso específico.

Este artículo se refiere a escorias negras de horno eléctrico, consideradas como las que se obtienen en el proceso de fusión de la chatarra. Cuando la escoria negra de horno eléctrico se utiliza como árido para la construcción se denomina árido siderúrgico de horno eléctrico.

No se considera aquí la escoria blanca de horno eléctrico, que es la que se produce durante la operación de afino del acero fundido y que no es de utilización en carreteras, ni sola ni mezclada, por su expansividad potencial.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

En las zahorras se podrán utilizar áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico como árido grueso y árido fino o combinaciones de estas con áridos naturales o artificiales siempre que el material combinado cumpla las especificaciones del presente artículo y las del correspondiente artículo 510 del Pliego General de Prescripciones Técnicas para Obras de Carreteras y Puentes PG-3, o en su caso del pliego de prescripciones técnicas particulares para zahorras que acompañen al proyecto, en las que no sean modificadas por este.

Las escorias negras habrán sido envejecidas con riego de agua durante un período mínimo de tres meses, tras someterlas previamente al menos a un proceso de machaqueo, cribado y eliminación de elementos metálicos y otros contaminantes, de manera que se cumplan las cláusulas del presente artículo.

Los áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración físico-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 o a otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua. Los resultados de los ensayos de lixiviación según la norma europea EN 12457-2 deberán cumplir los requisitos incluidos en el decreto de valorización de escorias del Gobierno Vasco.

El árido siderúrgico de horno eléctrico deberá presentar una expansividad inferior al 5% (categoría V_g) según la Norma UNE-EN 1744-1. La duración del ensayo será de ciento sesenta y ocho horas (168 h). Además, el resultado el índice IGE según la Norma NLT-361 será inferior al 1%. El contenido de cal libre del árido siderúrgico de horno eléctrico debe ser inferior al 0,5%, determinado según la Norma UNE-EN 1744-1.

El contenido ponderal de sulfatos solubles en agua, determinado según la UNE-EN 1744-1, será inferior al 0,2% (categoría $SS_{0,2}$) donde los materiales estén en contacto con capas tratadas con cemento, e inferior al 0,7% (categoría $SS_{0,7}$) en los demás casos.

El árido deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga, elementos metálicos, refractarios, partículas de cal u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.

Previamente a la aceptación del árido siderúrgico de horno eléctrico se deberá aportar documento acreditativo del origen del material, de que la valorización de la escoria está autorizada por el órgano ambiental del País Vasco y la certificación que acredite, a los solos efectos ambientales, la idoneidad de las características de las escorias valorizadas para el uso propuesto. El suministrador de escoria deberá certificar que el árido siderúrgico de horno eléctrico procede de un gestor autorizado de escorias negras y que no se encuentran mezcladas con escorias blancas ni otros contaminantes. Se incluirán en el certificado las condiciones de envejecimiento de las escorias y los contenidos de CaO libre y MgO total.

Para áridos siderúrgicos de horno eléctrico el valor del coeficiente de Los Ángeles podrá ser superior en cinco (5) unidades a los valores que se exigen en la tabla correspondiente del artículo 510 del PG-3 510.2, para cualquier composición granulométrica.

Con las excepciones señaladas en los párrafos precedentes, las prescripciones para el árido serán las mismas que las que se fijan en los artículos correspondientes del PG-3 o del pliego de prescripciones técnicas particulares para zahorras del proyecto.

TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

Cuando se utilicen áridos siderúrgicos de acería de horno eléctrico se deberán modificar las prescripciones correspondientes del PG-3 en lo siguiente:

La granulometría combinada de los áridos para la zahorra deberá presentar una expansión inferior al 0,5% en el ensayo ASTM D 4792

Las granulometrías de las mezclas de escoria con áridos naturales deberán tomarse en volumen, considerando que las que se encuentran en las tablas de la especificación correspondiente se refieren a áridos en peso.

CONTROL DE CALIDAD

Si se utilizan árido siderúrgico de horno eléctrico, a los ensayos de control de procedencia de los áridos que figuran en el PG-3 se añadirán los siguientes:

- determinación del grado de envejecimiento en escorias de acería, según la Norma NLT-361,
- contenido de cal libre, CaO, según la Norma UNE EN 1744-1,
- contenido de magnesia total MgO, según la Norma UNE EN 196-2 y
- contenido ponderal de sulfatos solubles en agua, determinado según la Norma UNE EN 1744-1.

Además, en el control de calidad de los áridos, al párrafo:

“Por cada mil metros cúbicos (1.000 m3) de material producido, o cada día si se fabricase menos material, sobre un mínimo de dos (2) muestras, una por la mañana y otra por la tarde:

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

Deberá añadirse:

- Grado de envejecimiento de escorias negras de acería, según la Norma NLT-361.

ANEJO 5. ÁRIDOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN PARA ZAHORRAS

DEFINICIÓN

Árido reciclado de RCD (Residuo de Construcción y Demolición) es el resultante del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en la construcción.

Se define como árido reciclado de hormigón AR-H, aquel árido reciclado de RCD en el que los componentes de los áridos gruesos (partículas retenidas por el tamiz de 4 mm UNE), determinados estos según las normas UNE-EN 13242 y UNE-EN 933-11, cumplen con los límites establecidos en la Tabla A5.1.

Tabla A5.1 Categoría de los componentes de la fracción gruesa

TIPO DE ÁRIDO	Componentes (UNE-EN 13242)					
	R_c	$R_c + R_u + R_g$	R_b	R_a	FL	X
AR-H	$\geq 50\%$	$\geq 90\%^{(*)}$	$\leq 10\%$	$\leq 10\%$	$\leq 5 \text{ cm}^3/\text{kg}$	$\leq 1\%^{(**)}$

* Porcentaje de vidrio inferior o igual al 2% ($R_g \leq 2\%$)

** Porcentaje de yeso inferior al 0,8% y contenidos en impropios de madera, papel, cartón o restos orgánicos inferior al 0,8%.

Donde:

R_c = Hormigón, productos de hormigón, morteros, piezas para fábrica de albañilería de hormigón

R_u = Áridos y piedras naturales y áridos tratados con ligantes hidráulicos

R_g = Vidrio

R_b = Materiales cerámicos de albañilería de arcilla (ladrillos y tejas) o de silicato de calcio, y hormigón celular no flotante

R_a = Materiales bituminosos

FL = Material flotante

X = Impropios: madera no flotante, plásticos y caucho, yeso, metales ferrosos y no ferrosos, suelos y arcillas.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Se podrán utilizar como zahorras los áridos AR-H o combinaciones de estos con áridos naturales siempre que el material combinado cumpla las especificaciones del presente artículo y las del correspondiente artículo 510 del Pliego General de Prescripciones Técnicas para Obras de Carreteras y Puentes PG-3 en lo que no sean modificadas por este.

Los áridos reciclados de RCD se habrán sometido a un proceso de separación de componentes no deseados, machaqueo, cribado y eliminación final de contaminantes, de manera que se cumplan las cláusulas del presente artículo. El tratamiento podrá hacerse en centrales fijas o móviles.

Según lo establecido en la Directiva 89/106/CEE, los áridos reciclados de RCD se deberán suministrar acompañados de la documentación que acredite que disponen del marcado CE según el Anejo ZA de la UNE-EN 13242 y que cumplen al menos las condiciones exigidas a un sistema para la certificación de la conformidad 2+.

Además, previamente a la aceptación del árido reciclado de RCD se deberá aportar documento acreditativo de su origen y de que la valorización está autorizada por el órgano ambiental del País Vasco, además de la certificación que acredite, a los solos efectos ambientales, la idoneidad de sus características para el uso propuesto. Se deberá certificar asimismo que los áridos reciclados de RCD proceden de un gestor autorizado, que han sido debidamente tratados y que no se encuentran mezclados con otros contaminantes.

Los áridos reciclados de RCD no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo. La pérdida en el ensayo de sulfato de magnesio según la norma EN 1367-2 no superará el 18% (categoría MS₁₈).

Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del firme. El contenido ponderal de sulfatos solubles en agua (expresados en SO₃), determinado según la UNE-EN 1744-1 será igual o inferior al 0,2% (categoría SS_{0,2}) donde los materiales estén en contacto con capas tratadas con cemento, e inferior al 0,7% (categoría SS_{0,7}) en los demás casos.

El árido no contendrá otras materias extrañas no incluidas en la enumeración de impropios de las normas UNE-EN 13242 y UNE-EN 933-11 que puedan afectar a la durabilidad de la capa.

Si el contenido de materia orgánica, determinado según la Norma UNE 103204, es superior al 0,2% se realizará un ensayo de equivalente de arena. El material se considerará aceptable si el equivalente de arena es superior a 35 para aplicaciones en las que sustituya a zahorras artificiales y a 30 si lo hace a zahorras naturales.

La categoría del valor máximo del coeficiente Los Ángeles será la indicada en la Tabla A5.2. Se admite la utilización de áridos reciclados que superen en 5 unidades a los valores límite de la Tabla cuando los resultados del ensayo CBR tras inmersión durante 28 días sean iguales o superiores al 150% de los obtenidos a los 4 días, para una compactación de las probetas del 100% de la densidad máxima del Proctor Modificado (UNE-EN 13286-2).

Tabla A5.2 Categoría del valor máximo del coeficiente Los Ángeles (UNE-EN 1097-2)

Empleo	Categoría de tráfico pesado	
	T2	T3, T4 y arcenes
Zahorra artificial	LA ₃₀	LA ₃₅
Zahorra natural	LA ₃₅	LA ₄₀

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará el volumen mínimo de acopios antes de iniciar las obras. Salvo justificación en contrario

dicho volumen no será inferior al correspondiente a un mes de trabajo en centrales fijas, con la producción prevista, ni a dos meses con centrales móviles.

El procedimiento de humectación de la zahorra deberá ser autorizado por el Director de las Obras. Dicho procedimiento deberá tener en cuenta las condiciones de absorción de agua del material, mayor que en materiales naturales.

CONTROL DE CALIDAD

Control de producción del material

Si con el material utilizado 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 homologado, los criterios descritos a continuación para realizar el control de producción del material no serán de aplicación obligatoria, sin perjuicio de las facultades que corresponden al Director de las Obras.

Antes de iniciar la producción, se reconocerá cada acopio o procedencia, determinando su aptitud según el resultado de los ensayos y las inspecciones realizadas. El reconocimiento se realizará de la forma más representativa posible: mediante la toma de muestras en acopios, o a la salida de la cinta en las instalaciones de fabricación u otros métodos de toma de muestras.

Para cualquier volumen de producción previsto, se ensayará un mínimo de cuatro muestras, añadiéndose una más por cada dos mil metros cúbicos o fracción, de exceso sobre diez mil metros cúbicos.

Sobre cada muestra se realizarán los siguientes ensayos:

- Granulometría por tamizado, según la UNE-EN 933-1.
- Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE-EN 103103 y UNE-EN 103104, respectivamente.
- Coeficiente Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2.
- Equivalente de arena según la UNE-EN 933-8 y en su caso, azul de metileno según la UNE-EN 933-9.
- Índice de lajas según la UNE-EN 933-3 (solo para zahorras artificiales).
- Partículas trituradas según la UNE-EN 933-5 (solo para zahorras artificiales).
- Humedad natural según la UNE-EN 1097-5.
- Clasificación de los componentes de los áridos gruesos reciclados según la UNE-EN 933-11.
- Ensayo de sulfato de magnesio según la UNE-EN 1367-2.
- Sulfatos solubles en agua según la UNE-EN 1744-1.
- Determinación del CBR a 4 y 28 días según la UNE-EN 13286-47.
- Contenido de materia orgánica según la UNE 103204.

Control de ejecución

Se examinará la descarga al acopio o en el tajo, desechando los materiales que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo aceptado en la fórmula de trabajo. Se acopiarán aparte aquéllos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, lajas, plasticidad, etc.

En su caso, se vigilará la altura de los acopios, el estado de sus separadores y de sus accesos.

La toma de muestras se podrá hacer a la salida de la instalación de fabricación, en los acopios o en el tajo de extendido. Sobre las muestras se realizarán al menos los siguientes ensayos:

Por cada mil metros cúbicos de material producido, o cada día si se fabricase menos material, sobre un mínimo de dos (2) muestras, una por la mañana y otra por la tarde:

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

Por cada cinco mil metros cúbicos de material producido, o una vez a la semana si se fabricase menos material:

- Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente.
- Proctor modificado, según la UNE-EN 13286-2.
- Índice de lajas, según la UNE-EN 933-3 (sólo para zahorras artificiales).
- Partículas trituradas, según la UNE-EN 933-5 (sólo para zahorras artificiales).
- Humedad natural, según la UNE-EN 1097-5.
- Clasificación de los componentes de los áridos gruesos reciclados, según la UNE-EN 933-11.
- Sulfatos solubles en agua, según la UNE-EN 1744-1.

Por cada veinte mil metros cúbicos de material producido, o una vez al mes si se fabricase menos material:

- Coeficiente de Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2.

El Director de las Obras podrá reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad si considerase que los materiales son suficientemente homogéneos, o si en el control de recepción de la unidad terminada se hubieran aprobado diez lotes consecutivos.

Control de puesta en obra

Antes de verter la zahorra, se comprobará su aspecto en cada elemento de transporte y se rechazarán todos los materiales segregados.

Se comprobará de manera sistemática:

- El espesor extendido, mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el Director de las Obras.
- La humedad de la zahorra en el momento de la compactación, mediante un procedimiento aprobado por el Director de las Obras.
- La composición y forma de actuación del equipo de puesta en obra y compactación, verificando:
 - o Que el número y tipo de compactadores es el aprobado.
 - o El lastre y la masa total de los compactadores.
 - o La presión de inflado en los compactadores de neumáticos.
 - o La frecuencia y la amplitud en los compactadores vibratorios.
 - o El número de pasadas de cada compactador.

ANEJO 6. ÁRIDOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN COMO SUELOS SELECCIONADOS PARA TERRAPLENES Y EXPLANADAS MEJORADAS

DEFINICIÓN

Árido reciclado de RCD (Residuo de Construcción y Demolición) es el resultante del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en la construcción.

Para la utilización como suelos seleccionados se definen dos tipos de áridos reciclados de RCD, árido reciclado de hormigón (AR-H) y árido reciclado mixto (AR-M). Los componentes de los áridos gruesos de cada uno de ellos, determinados de acuerdo con las normas UNE-EN 13242 y UNE-EN 933-11, deben cumplir con los límites establecidos en la Tabla A6.1.

Tabla A6.1 Categoría de los componentes de la fracción gruesa

Tipo de árido	Componentes (UNE-EN 13242)					
	R_c	$R_c + R_u + R_g$	R_b	R_a	FL	X
AR-H	$\geq 50\%$	$\geq 90\%^{(*)}$	$\leq 10\%$	$\leq 10\%$	$\leq 5 \text{ cm}^3/\text{kg}$	$\leq 1\%^{(**)}$
AR-M	Sin requisito	$\geq 70\%^{(*)}$	$\leq 30\%$	$\leq 10\%$	$\leq 5 \text{ cm}^3/\text{kg}$	$\leq 1\%^{(**)}$

* Porcentaje de vidrio inferior o igual al 2% ($R_g < 2\%$).

** Porcentaje de yeso inferior al 0,8% y contenidos en impropios de madera, papel, cartón o restos orgánicos inferior al 0,8%.

Donde:

R_c = Hormigón, productos de hormigón, morteros, piezas para fábrica de albañilería de hormigón

R_u = Áridos y piedras naturales y materiales tratados con ligantes hidráulicos

R_g = Vidrio

R_b = Materiales cerámicos de albañilería de arcilla (ladrillos y tejas) o de silicato de calcio, hormigón celular no flotante

R_a = Materiales bituminosos

FL = Material flotante

X = Impropios: madera no flotante, plásticos y caucho, yeso, metales ferrosos y no ferrosos, suelos y arcillas.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Se podrán utilizar como suelos seleccionados los áridos AR-H y AR-M o combinaciones de estos con áridos o suelos naturales siempre que el material combinado cumpla las especificaciones del presente artículo, las de la Norma para el dimensionamiento de firmes

de la red de carreteras del País Vasco y las de los artículos 330 o 340 del Pliego General de Prescripciones Técnicas para Obras de Carreteras y Puentes PG-3 en lo que corresponde a suelos seleccionados y que no sean modificadas por este.

Los áridos reciclados de RCD se habrán sometido a un proceso de separación de componentes no deseados, machaqueo, cribado y eliminación de contaminantes, de manera que se cumplan las cláusulas del presente artículo. El tratamiento podrá hacerse en centrales fijas o móviles.

Según lo establecido en la Directiva 89/106/CEE, los áridos reciclados de RCD se deberán suministrar acompañados de la documentación que acredite que disponen del marcado CE según el Anejo ZA de la UNE-EN 13242 y que cumplen al menos las condiciones exigidas a un sistema para la certificación de la conformidad 2+.

Además, previamente a la aceptación del árido reciclado de RCD, se deberá aportar documento acreditativo de su origen y de que la valorización está autorizada por el órgano ambiental del País Vasco, además de la certificación que acredite, a los solos efectos ambientales, la idoneidad de sus características para el uso propuesto. Se deberá certificar, asimismo, que los áridos reciclados de RCD proceden de un gestor autorizado, que han sido debidamente tratadas y que no se encuentran mezcladas con otros contaminantes.

Los áridos de RCD no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo. La pérdida en el ensayo de sulfato de magnesio según la norma UNE-EN 1367-2 no superará el 18% (categoría MS_{18}).

Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del firme. El contenido ponderal de sulfatos solubles en agua (expresados en SO_3), determinado según la UNE-EN 1744-1, será igual o inferior al 0,2% (categoría $SS_{0,2}$) donde los materiales estén en contacto con capas tratadas con cemento, e inferior al 0,7% (categoría $SS_{0,7}$) en los demás casos.

El árido no contendrá otras materias extrañas no incluidas en la enumeración de impropios de las normas UNE-EN 13242 y UNE-EN 933-11 que puedan afectar a la durabilidad de la capa.

El valor del índice CBR, determinado según la norma UNE-EN 13286-47 y con una compactación de las probetas del 100% de la densidad máxima del Proctor Modificado (UNE-EN 13286-2), será superior a 20 para suelos seleccionados tipo 3 y a 40 para los suelos seleccionados de tipo 4. El árido no deberá presentar hinchamiento en el ensayo CBR, habiendo aplicado una sobrecarga de 4,5 kg.

Si el contenido de materia orgánica, determinado según la Norma UNE 103204, es superior al 0,2% se realizará un ensayo de equivalente de arena. El material se considerará aceptable si el equivalente de arena es superior a 30.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará el volumen mínimo de acopios antes de iniciar las obras. Salvo justificación en contrario, dicho volumen no será inferior al correspondiente a un mes de trabajo con la producción prevista.

El procedimiento de humectación del material deberá ser autorizado por el Director de las Obras. Dicho procedimiento deberá tener en cuenta las condiciones de absorción de agua del material, mayor que en materiales naturales.

CONTROL DE CALIDAD

A los ensayos de control de producción de los áridos que figuran en el PG-3 se añadirán los siguientes:

Control de producción

Si con el material utilizado 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 homologado, los criterios descritos a continuación para realizar el control de producción del material no serán de aplicación obligatoria, sin perjuicio de las facultades que corresponden al Director de las Obras.

Antes de iniciar la producción, se reconocerá cada acopio o procedencia, determinando su aptitud según el resultado de los ensayos y las inspecciones realizadas. El reconocimiento se realizará de la forma más representativa posible: mediante la toma de muestras en acopios, o a la salida de la cinta en las instalaciones de fabricación u otros métodos de toma de muestras.

Para cualquier volumen de producción previsto, se ensayará un mínimo de cuatro muestras, añadiéndose una más por cada dos mil metros cúbicos o fracción, de exceso sobre diez mil metros cúbicos.

Sobre cada muestra se realizarán los siguientes ensayos:

- Granulometría por tamizado, según la UNE-EN 933-1.
- Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE-EN 103103 y UNE-EN 103104, respectivamente.
- Equivalente de arena según la UNE-EN 933-8 y en su caso, azul de metileno según la UNE-EN 933-9.
- Humedad natural según la UNE-EN 1097-5.
- Clasificación de los componentes de los áridos gruesos reciclados según la UNE-EN 933-11.
- Ensayo de sulfato de magnesio según la UNE-EN 1367-2.
- Sulfatos solubles en agua según la UNE-EN 1744-1.
- Determinación del CBR según la UNE-EN 13286-47.
- Contenido de materia orgánica según la UNE 103204.
- Densidad relativa de las partículas según la UNE 103302.
- Proctor Modificado según la UNE-EN 13286-2.

Control de ejecución

Se examinará la descarga al acopio o en el tajo, desechando los materiales que, a simple vista, presenten contaminaciones o tamaños superiores al máximo aceptado. Se acopiarán aparte aquéllos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, etc.

En su caso, se vigilará la altura de los acopios, el estado de sus separadores y de sus accesos.

La toma de muestras se podrá hacer a la salida de la instalación de fabricación, en los acopios o en el tajo de extendido. Se realizarán los siguientes ensayos:

Por cada mil metros cúbicos de material producido, o cada día si se fabricase menos material, sobre un mínimo de dos (2) muestras, una por la mañana y otra por la tarde:

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

Por cada cinco mil metros cúbicos de material producido, o una vez a la semana si se fabricase menos material:

- Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente.
- Proctor modificado, según la UNE-EN 13286-2.
- Humedad natural, según la UNE-EN 1097-5.
- Clasificación de los componentes de los áridos gruesos reciclados, según la UNE-EN 933-11.
- Sulfatos solubles en agua (expresados en SO₃), determinado según la UNE-EN 1744-1.

Por cada veinte mil metros cúbicos de material producido, o una vez al mes si se fabricase menos material:

- Determinación del CBR según la UNE-EN 13286-47.

El Director de las Obras podrá reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad si considerase que los materiales son suficientemente homogéneos, o si en el control de recepción de la unidad terminada se hubieran aprobado diez lotes consecutivos.

Control de puesta en obra

Antes de verter el suelo seleccionado, se comprobará su aspecto en cada elemento de transporte y se rechazarán todos los materiales segregados.

Se comprobará de manera sistemática:

- El espesor extendido, mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el Director de las Obras.
- La humedad del suelo en el momento de la compactación, mediante un procedimiento aprobado por el Director de las Obras.

- La composición y forma de actuación del equipo de puesta en obra y compactación, verificando:
 - o Que el número y tipo de compactadores es el aprobado.
 - o El lastre y la masa total de los compactadores.
 - o La presión de inflado en los compactadores de neumáticos.
 - o La frecuencia y la amplitud en los compactadores vibratorios.
 - o El número de pasadas de cada compactador.

Control de recepción de la unidad terminada

Dentro del tajo a controlar se define como “lote”, que se aceptará o rechazará en conjunto, al menor que resulte de aplicar a una sola tongada de terraplén o explanada mejorada los siguientes criterios:

- Una longitud de carretera (una sola calzada en el caso de calzadas separadas) igual a quinientos metros.
- Una superficie de tres mil quinientos metros cuadrados. Descontando siempre en el conjunto de esta superficie unas franjas de dos metros de ancho en los bordes de la calzada.
- La fracción construida diariamente.

Nunca se escogerá un lote compuesto de fracciones correspondientes a días ni tongadas distintas, siendo por tanto entero el número de lotes escogido por cada día y tongada.

La realización de los ensayos in situ y la toma de muestras se hará en puntos previamente seleccionados mediante muestreo aleatorio, tanto en sentido longitudinal como transversal; de tal forma que haya al menos una toma o ensayo por cada hectómetro.

Si durante la construcción se observaran defectos localizados, tales como blandones, se corregirán antes de iniciar el muestreo.

Se realizarán determinaciones de humedad y de densidad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de cinco por cada lote. En el caso de usarse sonda nuclear u otros métodos rápidos de control, éstos habrán sido convenientemente calibrados en la realización del tramo de prueba. En los mismos puntos donde se realice el control de la densidad se determinará el espesor de la tongada de terraplén o explanada mejorada.

En explanadas mejoradas, sobre cada lote de la última tongada de terminación, se harán los siguientes ensayos:

Se realizará un ensayo de carga con placa, según la NLT-357. Se llevará a cabo una determinación de humedad natural en el mismo lugar en que se realice el ensayo de carga con placa.

Se comparará la rasante de la superficie terminada con la teórica establecida en los Planos del Proyecto, en el eje, quiebros de peralte si existieran, y bordes de perfiles transversales

con una separación no superior a diez metros, y niveladas con precisión milimétrica con arreglo a los planos. En todos los semiperfiles se comprobará la anchura de la capa.

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 regla de tres metros estática, según la NLT 334, aplicada tanto paralela como normalmente al eje de la carretera.

Especificaciones de la unidad terminada

Densidad

La compactación de las distintas tongadas del suelo seleccionado deberá quedar definida en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de la obra y el valor definido no deberá ser inferior a la que corresponda al cien por cien de la máxima de referencia, obtenida en el ensayo Proctor Modificado, según la UNE-EN 13286-2.

Capacidad de soporte en explanadas mejoradas terminadas

La capacidad de soporte de la explanada mejorada terminada vendrá definida por el módulo de compresibilidad E_{v2} , obtenido en el segundo ciclo del ensayo de carga con placa según la norma NLT-357/98, y la relación, K , entre los módulos de compresibilidad del segundo y primer ciclos de carga. Los valores mínimos de E_{v2} y máximos de K sobre Plano de Explanada serán los indicados en la Tabla A6.2. En todo caso, se admitirán valores de k superiores a los máximos señalados si el valor del módulo de compresibilidad del primer ciclo de carga, E_{v1} , es al menos el 70% del exigido en el segundo.

Tabla A6.2 Capacidad de soporte mínima del plano de explanada

Categoría de explanada mejorada	E_{v2} según Norma NLT-357/98	$K (E_{v2}/E_{v1})$ según Norma NLT-357/98	
		Densidad exigida $\geq 103\%$ PM	Densidad exigida $< 103\%$ PM
EX1	≥ 120 MPa	$\leq 2,2$	$\leq 2,5$
EX2	≥ 200 MPa		
EX3	≥ 300 MPa		

Además, para categorías de tráfico pesado T00 a T1 la deflexión patrón estará de acuerdo con lo indicado en la Tabla A6.3.

Tabla A6.3 – Deflexión patrón máxima

Categoría de explanada mejorada	EX1	EX2	EX3
Deflexión patrón (10^{-2} mm)	≤ 200	≤ 150	≤ 125

Rasante, espesor y anchura de la explanada mejorada terminada

Dispuestos los sistemas de comprobación aprobados por el Director de las Obras, la rasante de la superficie terminada no deberá superar a la teórica en ningún punto ni quedar por debajo de ella en más de quince milímetros en calzadas de carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T1, ni en más de veinte milímetros en el resto de los casos. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o el Director de las Obras podrán modificar los límites anteriores.

La explanada mejorada terminada tendrá como mínimo el espesor indicado en el Proyecto, no siendo admisible en ningún punto de la misma, espesores inferiores.

En todos los semiperfiles se comprobará la anchura de la capa extendida, que en ningún caso deberá ser inferior a la establecida en los Planos de secciones tipo.

Regularidad superficial de la explanada mejorada terminada

La superficie acabada no deberá variar en más de quince milímetros, cuando se compruebe con la regla de tres metros estática según NLT-334 aplicada tanto paralela como normalmente al eje de la carretera. Tampoco podrá haber zonas capaces de retener agua.

Criterios de aceptación o rechazo del lote

Densidad

La densidad media obtenida en cada tongada no será inferior a la especificada; no más de dos individuos de la muestra podrán arrojar resultados de hasta tres puntos porcentuales por debajo de la densidad especificada. De no alcanzarse los resultados exigidos, el lote se recompactará hasta conseguir la densidad especificada.

Los ensayos de determinación de humedad tendrán carácter indicativo y no constituirán, por sí solos, base de aceptación o rechazo.

Espesor

El espesor medio obtenido en el terraplén o en la explanada mejorada acabada no deberá ser inferior al previsto en los Planos de secciones tipo; no más de dos individuos de la muestra podrán presentar resultados individuales que bajen del especificado en un diez por ciento para explanadas mejoradas o en un quince por ciento para el terraplén.

Si el espesor medio obtenido fuera inferior al especificado se procederá de la siguiente manera:

- Si el espesor medio obtenido en el terraplén o explanada mejorada fuera inferior al ochenta y cinco por ciento del especificado, se escarificará la capa en una profundidad mínima de quince centímetros, se añadirá el material necesario de las mismas características y se volverá a compactar y refinar la capa por cuenta del Contratista.
- Si el espesor medio obtenido en el terraplén o explanada mejorada fuera superior al ochenta y cinco por ciento del especificado y no existieran problemas de encharcamiento, se podrá admitir siempre que se compense la merma de espesor con el espesor adicional correspondiente en la capa superior por cuenta del Contratista.

Capacidad de soporte de la explanada mejorada terminada

En la explanada mejorada terminada, el módulo de compresibilidad E_{v2} y la relación de módulos E_{v2}/E_{v1} obtenidos en el ensayo de carga con placa, y, en su caso, la deflexión patrón, no deberán sobrepasar los límites especificados en el apartado 6. De no alcanzarse los resultados exigidos, el lote se recompactará hasta conseguir los módulos especificados.

Rasante de la explanada mejorada terminada

Las diferencias de cota entre la superficie obtenida en la explanada mejorada terminada y la teórica establecida en los Planos del Proyecto no excederán de las tolerancias especificadas en el apartado 6, ni existirán zonas que retengan agua.

Cuando la tolerancia sea rebasada por defecto y no existan problemas de encharcamiento, el Director de las Obras podrá aceptar la superficie siempre que la capa superior a ella compense la merma con el espesor adicional necesario sin incremento de coste para la Administración.

Cuando la tolerancia sea rebasada por exceso, éste se corregirá por cuenta del Contratista, siempre que esto no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en los Planos.

Regularidad superficial de la explanada mejorada terminada

Si los resultados de la regularidad superficial de la explanada mejorada terminada exceden los límites establecidos, se procederá de la siguiente manera:

- Si es en más del diez por ciento de la longitud del tramo controlado se escarificará la capa en una profundidad mínima de quince centímetros y se volverá a compactar y refinar por cuenta del Contratista.
- Si es en menos de un diez por ciento de la longitud del tramo controlado se aplicará una penalización económica del diez por ciento.

COMISIÓN DEL PLAN GENERAL DE CARRETERAS DEL PAÍS VASCO

Iñaki Arriola López

Consejero

Presidente de la Comisión del Plan General de Carreteras del País Vasco

Jesús María Benaito Villagarcía

Director de Infraestructuras del Transporte del Gobierno Vasco

Ignacio Achucarro Arruabarrena

Viceconsejero de Planificación Territorial y Aguas

Alicia Ruiz de Infante Aguirre

Diputada Foral de Obras Públicas y Transportes de Araba

Itziar Garamendi Landa

Diputada Foral de Obras Públicas y Transportes de Bizkaia

Larraitz Ugarte Zubizarreta

Diputada Foral de Movilidad e Infraestructuras Viarias de Gipuzkoa

PONENCIA TÉCNICA

Gobierno Vasco

Jesús María Benaito Villagarcía

Director de Infraestructura del Transporte

Ana Isabel Fonseca Miguel

Responsable de Infraestructuras de Transportes

Diputación Foral de Araba

Juan Ramírez López

Director de Obras Públicas y Transportes

Miguel Ángel Ortiz de Landaluce Martínez de Rituerto

Jefe del Servicio de Carreteras

Diputación Foral de Bizkaia

Mikel Iriondo Bilbao

Director General de Infraestructuras Viarias

José Luis Ruiz Ojeda

Subdirector General de Obras Públicas

Carlos M. Gascón Varón
Jefe del Servicio de Tecnología e Inventario

Diputación Foral de Gipuzkoa

Joseba Altube Moyua
Director General de Infraestructuras Viarias

José Antonio Navarro Jausoro
Técnico del Servicio de Conservación e Innovación

REDACCIÓN

Aurelio Ruiz Rubio
Director de CIESM-INTEVIA

Aurelio Ruiz Rubio y José Miguel Baena Rangel (Edición de 2006)
CEDEX

COMISIÓN DE EXPERTOS (EDICIÓN 2006)

Guillermo Albretch Arquer
INTEVÍA

Rafael Alvarez Loranca
GEOCISA

Alberto Bardesi Orue-Etxebarria
REPSOL YPF

Jesús Díaz Minguela
IECA-NOROESTE

José Antonio Fernández Cuenca
DRAGADOS

Antonio Fernández Menéndez
Asfaltos y Construcciones Ucop

Jacinto García Santiago
SACYR-VALLEHERMOSO

Fernando Guijo Linares
FERROVIAL

Carlos Jofré Ibáñez
IECA

Felix Pérez Jiménez

U.P.C.

Julio del Pozo Velasco

ACESA

Pedro Luis Urquiza González

FERROVIAL

Iñaki Zabala Zuazo

IECA-NORTE

